Quaderni di applicazione tecnica N.11
Guida alla realizzazione di un quadro elettrico secondo le Norme CEI EN 61439 Parte 1 e Parte 2

Power and productivity
for a better world™

ABB

Guida alla realizzazione di un quadro elettrico secondo le Norme CEI EN 61439 Parte 1 e Parte 2

Indice

Segue

Guida alla realizzazione di un quadro elettrico secondo le Norme CEI EN 61439 Parte 1 e Parte 2

Indice

Introduzione

Un quadro elettrico è costituito dall'assieme di più apparecchiature di protezione e manovra, raggruppate in uno o più contenitori adiacenti (colonne).
In un quadro si distinguono: il contenitore, chiamato dalle norme involucro (che svolge la funzione di supporto e di protezione meccanica dei componenti contenuti), e l'equipaggiamento elettrico, costituito dagli apparecchi, dalle connessioni interne e dai terminali di entrata e di uscita per il collegamento all'impianto.
Come tutti i componenti di un impianto elettrico, anche il quadro deve rispondere alla relativa Norma di prodotto.

A questo riguardo c'è stata un'evoluzione, a livello normativo, che ha segnato il passaggio dalla precedente Norma CEI EN 60439 all'attuale CEI EN 61439; in particolare, sono da poco entrate in vigore, a livello internazionale, le IEC 61439-1 e IEC 61439-2, recepite dalle corrispondenti CEI EN 61439-1 e CEI EN 61439-2 a livello italiano. Queste norme si applicano alle apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione (quadri BT) (la cui tensione nominale non sia superiore a 1000 V in corrente alternata, oppure a 1500 V in corrente continua).

Il presente Quaderno Tecnico ha l'obbiettivo di:
1) descrivere le principali novità e i principali cambiamenti introdotti dalla nuova norma per quanto riguarda la struttura, le definizioni e i contenuti (es: metodologie di verifica dei quadri e loro condizioni di applicabilità), descrivendo in particolare le verifiche prestazionali relative a: limiti di sovratemperatura, tenuta al cortocircuito e proprietà dielettriche;
2) fornire un documento contenente informazioni utili per la realizzazione e la certificazione dei quadri BT in conformità alla Norma CEI EN 61439.

Questa pubblicazione è divisa in sette parti fondamentali:
- l'introduzione e la descrizione della nuova CEI EN 61439;
- la definizione delle caratteristiche elettriche nominali, dei gradi IP e IK e delle forme di segregazione per un quadro elettrico;
- gli aspetti normativi relativi a: sovratemperatura, tenuta al cortocircuito e proprietà dielettriche (distanze d'isolamento);
- le prescrizioni per la protezione contro i contatti diretti e indiretti;
- le indicazioni pratiche per la realizzazione, la movimentazione, il trasporto e l'installazione finale dei quadri elettrici;
- le proprietà e le caratteristiche prestazionali (verifiche di progetto) dei quadri elettrici e una guida all'esecuzione delle verifiche individuali (certificazione del quadro);
- un esempio di scelta dei prodotti (interruttori, condutture, sistema di distribuzione, barre e carpenteria) per la realizzazione di un quadro ArTu.

1 Norme relative ai quadri e applicabilità

La recente pubblicazione della nuova CEI EN 61439 impone un'evoluzione e un affinamento del concetto di quadro elettrico, di fatto fermo al 1990 quando si passò dagli ACF agli AS e ANS.
La nuova norma continua a considerare il quadro come un normale componente dell'impianto, alla stregua di un interruttore o di una presa, sebbene risulti costituito dall'assieme di più apparecchiature, raggruppate in uno o più contenitori adiacenti (colonne).
In un quadro si distinguono: il contenitore, chiamato dalle norme involucro (che svolge la funzione di supporto e di protezione meccanica dei componenti contenuti), e l'equipaggiamento elettrico, costituito dagli apparecchi, dalle connessioni interne e dai terminali di entrata e di uscita per il collegamento all'impianto.
Tale complesso deve essere assiemato opportunamente in modo da soddisfare i requisiti di sicurezza ed adempiere in maniera ottimale alle funzioni per le quali è stato progettato.

In Italia da questo punto di vista in passato la legge 46/90 ed ora il DM 37/08 impongono all'installatore di sottoscrivere, per ogni azione su un impianto che sia oltre la manutenzione ordinaria, una dichiarazione di conformità alla regola d'arte.
Tra gli allegati obbligatori alla Dichiarazione, nell'elenco materiali installati o modificati, spesso compare il quadro elettrico che ha subito interventi.
Come noto, per l'art.2 della legge 186 del 1 marzo del 1968, le apparecchiature e gli impianti realizzati in conformità alle norme del CEI si considerano a regola d'arte.
Quindi, come tutti i componenti di un impianto elettrico, anche il quadro deve rispondere alla relativa Norma di prodotto. A questo proposito sono da poco in vigore le IEC 61439-1 e 2 a livello internazionale, recepite dalle corrispondenti CEI EN 61439-1 e 2 a livello Italiano.
Queste norme si applicano ai quadri di Bassa tensione (la cui tensione nominale non sia superiore a 1000 V in corrente alternata, oppure a 1500 V in corrente continua).
La CEI EN 61439-1 costituisce la parte generale per i quadri di BT, mentre le altre parti che man mano saranno pubblicate, sono quelle relative alla specifica tipologia di quadro e dovranno essere lette congiuntamente alla parte generale.

Queste parti specifiche saranno:
- la CEI EN 61439-2: “Quadri di potenza”;
- la CEI EN 61439-3: “Quadri di distribuzione” (sostituisce la precedente CEI EN 60439-3 sugli ASD);
- la CEI EN 61439-4: “Quadri per cantiere” (sostituisce la precedente CEI EN 60439-4 sugli ASC);
- la CEI EN 61439-5: “Quadri per distribuzione di potenza” (sostituisce la precedente CEI EN 60439-5);
- la CEI EN 61439-6: “Sistemi di condotti sbarre” (sostituisce la precedente CEI EN 60439-2).

Continua ad esistere la Norma italiana CEI 23-51, che tratta i quadri per uso domestico e similare.
Questi ultimi devono essere utilizzati in ambienti con determinate caratteristiche e destinati all'uso con tensione e corrente limitate a certi valori.

Altre due pubblicazioni del CEI, sui quadri elettrici, sono tutt'ora disponibili :
- la CEI 17-43 che rappresenta un metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante calcolo o regole di progetto;
- la CEI 17-52 che rappresenta un metodo per la determinazione della tenuta al cortocircuito, mediante calcolo o regole di progetto.

Nel 1999 il CEI ha pubblicato la guida CEI 17-70: questo documento ha lo scopo di fornire un'interpretazione “ufficiale” su alcuni punti importanti delle norme dei quadri elettrici in bassa tensione.
La presente guida, dopo una panoramica sulla normativa, tratta i quadri ArTu conformi alla Norma CEI EN 61439-2.

1.1 La Norma CEI EN 61439-1

Come detto il nuovo pacchetto di norme codificate dall'IEC con il codice 61439, è composto dalla norma base 61439-1 e dalle norme specifiche relative alla tipologia di quadro. La prima tratta delle caratteristiche, delle proprietà e delle prestazioni, che saranno comuni a tutti i quadri elettrici, che, a loro volta, rientreranno ciascuno nella rispettiva norma specifica.
Ad oggi, la nuova CEI EN 61439 è così strutturata:

1) La CEI 61439-1: “Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 1: “Regole Generali”;
2) La CEI EN 61439-2: “Quadri di potenza”;
3) La CEI EN 61439-3: “Quadri di distribuzione”;
4) La CEI EN 61439-4: “Quadri per cantiere”;
5) La CEI EN 61439-5: “Quadri per distribuzione di potenza”;
6) La CEI EN 61439-6: “Sistemi di condotti sbarre”;

Per quanto riguarda la dichiarazione di conformità, ogni specifica tipologia di quadro sarà dichiarata conforme alla rispettiva norma di prodotto (es: i quadri di potenza saranno dichiarati conformi alla CEI EN 61439-2; i quadri di distribuzione saranno dichiarati conformi alla CEI EN 61439-3).
Il passaggio, dalla precedente Norma CEI EN 60439 all'attuale CEI EN 61439, avverrà nel seguente modo.

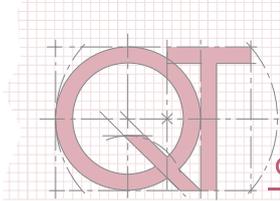
La “vecchia” 60439-1 sarà gradualmente superata dalle nuove 61439-1 e 2 già disponibili ma resterà ancora in vigore fino al 2014 per i quadri di potenza (detti anche PSC dall’inglese: Power switchgear controlgear PSC-ASSEMBLIES).
Dopo quella data i nuovi quadri PSC potranno essere conformi solo alle nuove norme.
Il periodo di sopravvivenza per la 60439-1 e per le altre 60439-X si dilata fino al 2014, per la realizzazione degli altri quadri speciali (cantiere, sistemi di sbarre, distribuzione ecc), essendo ad oggi tali nuove norme solo previste, pianificate ma non disponibili.
La norma base stabilisce i requisiti relativi alla costruzione, sicurezza e manutenibilità dei quadri elettrici, identificando le caratteristiche nominali, le condizioni ambientali di servizio, i requisiti meccanici ed elettrici e le prescrizioni relative alle prestazioni.

La precedente norma del 1990 aveva suddiviso i quadri in due tipi, definendoli AS (di serie) e ANS (non di serie), secondo la loro conformità totale o parziale alle cosiddette prove di tipo di laboratorio.
La nuova norma abolisce completamente questo dualismo e al suo posto pone semplicemente il quadro conforme, cioè un qualsiasi quadro che risponde alle verifiche di progetto previste dalla norma stessa.

Per questo obiettivo la norma consente tre modalità, alternative ma tra loro del tutto equivalenti, ai fini della verifica di conformità di un quadro, che sono:
- 1) verifica con prove di laboratorio (prima chiamate prove di tipo e adesso prove di verifica);
- 2) verifica con calcoli (utilizzando vecchi e nuovi algoritmi);
- 3) verifica con regole di progetto (analisi e considerazioni che sono indipendenti dalle prove; verifica con criteri fisico/analitici o deduzioni progettuali).

Le diverse prestazioni (sovratemperatura, isolamento, corrosione ecc) potranno essere garantite con una qualsiasi di queste tre procedure; resta del tutto irrilevante l’aver seguito l’una o l’altra strada per garantire la conformità del quadro.
Non essendo sempre possibile scegliere tra le tre procedure, la Tabella D.1 dell’appendice D della norma (vedi tabella 1.1) elenca, per ciascuna prestazione da verificare, quali delle tre procedure di verifica si possono utilizzare.

Tabella 1.1

N°	Caratteristiche da verificare	Articoli o paragrafi	Scelta della verifica effettuabile		
			Verifica mediante prove	Verifica mediante calcoli	Verifica mediante regole di progetto
1	Robustezza dei materiali e parti del quadro:	10.2			
	Resistenza alla corrosione	10.2.2	SI	NO	NO
	Proprietà dei materiali isolanti:	10.2.3			
	Stabilità termica	10.2.3.1	SI	NO	NO
	Resistenza dei materiali isolanti al calore normale	10.2.3.2	SI	NO	NO
	Resistenza dei materiali isolanti al calore anormale ed al fuoco che si verifica per effetti interni di natura elettrica	10.2.3.3	SI	NO	NO
	Resistenza alla radiazione ultravioletto (UV)				
	Sollevamento	10.2.4	SI	NO	NO
	Impatto meccanico	10.2.4	SI	NO	NO
	Marcatura	10.2.6	SI	NO	NO
		10.2.7	SI	NO	NO
2	Grado di protezione degli involucri	10.3	SI	NO	SI
3	Distanze d’isolamento in aria e superficiali	10.4	SI	SI	SI
4	Protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione:	10.5			
	Effettiva continuità della messa a terra tra le masse del quadro ed il circuito di protezione	10.5.2	SI	NO	NO
	Continuità del quadro per guasti esterni	10.5.3	SI	SI	SI
5	Installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti	10.6	NO	NO	SI
6	Circuiti elettrici interni e collegamenti	10.7	NO	NO	SI
7	Terminali per conduttori esterni	10.8	NO	NO	SI
8	Proprietà dielettriche:	10.9			
	Tensione di tenuta a frequenza industriale	10.9.2	SI	NO	NO
	Tensione di tenuta ad impulso	10.9.3	SI	NO	SI
9	Limiti di sovratemperatura	10.10	SI	SI	SI
10	Tenuta al cortocircuito	10.11	SI	SI	SI
11	Compatibilità Elettromagnetica (EMC)	10.12	SI	NO	SI
12	Funzionamento meccanico	10.13	SI	NO	NO

Come si può vedere, per talune prestazioni, quali la tenuta alla corrosione o all'urto è ammessa la verifica solo con prove di laboratorio; invece, per altre prestazioni come la sovratemperatura e il cortocircuito, sono ammesse indifferentemente tutte e tre le modalità di verifica: prova, calcolo o regole di progetto.
Un'altra grossa novità della nuova norma è l'affinamento della figura del costruttore.
In particolare si definiscono due modi di essere del costruttore: il costruttore "originale" ed il costruttore "del quadro".
Il primo è chi inizialmente ha inventato quella linea di quadri cui appartiene quello da assiemare e a tal fine ha eseguito le verifiche di progetto (ex prove di tipo), i calcoli di derivazione oppure le regole di progetto, per completare il ventaglio di possibilità disponibili, per la verifica del quadro.
Va da sé che maggiori e più performanti saranno gli allestimenti che il costruttore originario riuscirà a "normalizzare" e poi a proporre, più alte saranno le sue probabilità di far realizzare i suoi quadri e dunque di fare profitto.
Il secondo, identificato come il costruttore "del quadro", è chi effettivamente costruisce il quadro, nel senso che si procura i diversi particolari e componenti e li assembla come richiesto, realizzando il manufatto finito, montato e cablato, sfruttando una delle già menzionate opportunità, pronte all'uso, presentategli dal costruttore "originale".
La norma ammette ancora che alcune fasi del montaggio dei quadri siano realizzate anche fuori dal laboratorio o dall'officina del costruttore del quadro (sul cantiere o a bordo macchina), attenendosi comunque alle sue istruzioni.
Operativamente i quadristi e gli installatori, intesi come costruttori finali, potranno come di consueto utilizzare prodotti commercializzati in kit e presentati nei cataloghi dei costruttori "originali", per assemblarli nella configurazione di quadro di cui hanno bisogno.

Riassumendo il costruttore "originale" dovrà:
- progettare (calcolare, disegnare e realizzare) la linea di quadri desiderata;
- provare alcuni prototipi di quella linea di quadri;
- superare queste prove per dimostrare la rispondenza alle prescrizioni obbligatorie della Norma;
- derivare dalle prove altri allestimenti attraverso il calcolo o ulteriori valutazioni o misurazioni;
- aggiungere ulteriori allestimenti ottenuti senza prove ma con adatte "regole di progetto";
- infine raccogliere tutte le informazioni suddette e divulgarle, a mezzo cataloghi, regoli o software, al cliente finale, perché possa realizzare il nuovo quadro, nonché utilizzarlo e gestirlo al meglio, effettuando gli opportuni controlli e la manutenzione.

L'elenco delle verifiche di progetto prescritte dalla Norma e a carico del costruttore "originale" che, in accordo alla Tabella 1.1, deciderà come eseguirle è il seguente:
Verifiche delle caratteristiche relative alla costruzione:
- Robustezza dei materiali e di parti del quadro;
- Grado di protezione IP del quadro;
- Distanze d'isolamento (in aria e superficiali);
- Protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione;
- Installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti;
- Circuiti elettrici interni e collegamenti;
- Terminali per conduttori esterni;

Verifiche delle caratteristiche relative alla prestazione:
- Proprietà dielettriche (tensione di tenuta a 50 Hz e tensione di tenuta a impulso);
- Verifica dei limiti di sovratemperatura;
- Tenuta al cortocircuito;
- Compatibilità elettromagnetica (EMC);
- Funzionamento meccanico.

Il costruttore "del quadro" avrà invece la responsabilità:
- sulla scelta e sul montaggio (topografico) dei componenti nel rispetto delle istruzioni fornite;
- di eseguire le verifiche individuali (collaudo) su ogni quadro realizzato;
- di certificare il quadro.

L'elenco delle verifiche individuali (collaudo finale) prescritte dalla Norma e a carico del costruttore "del quadro" è il seguente:

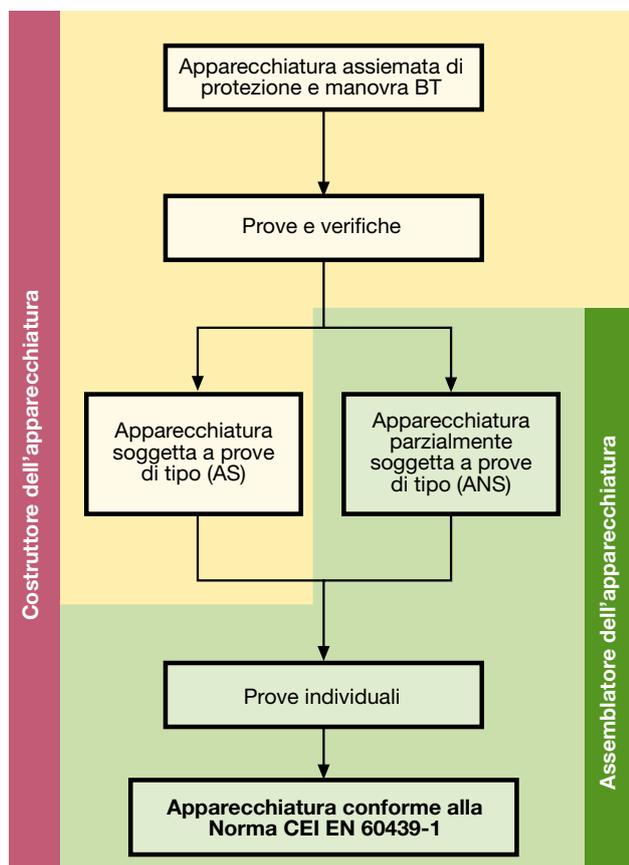
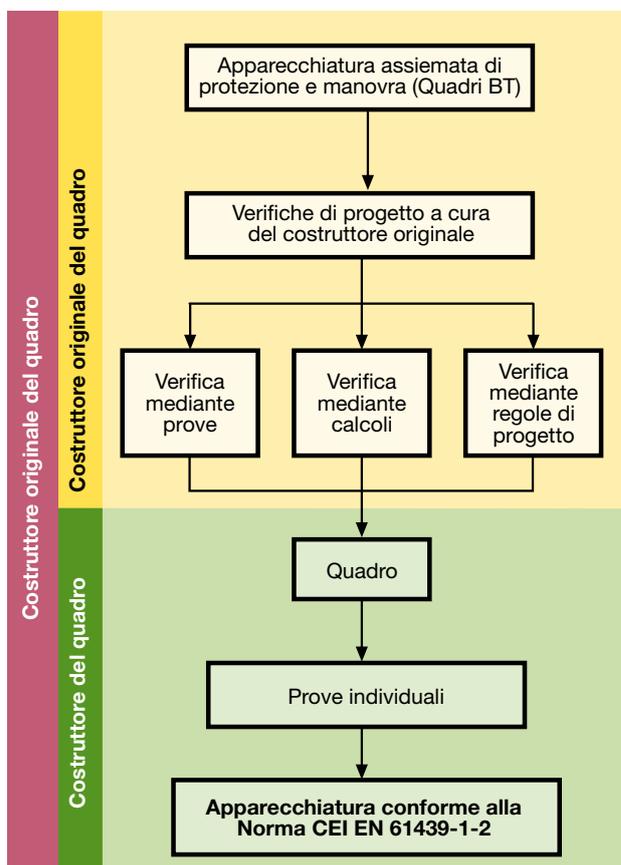
Caratteristiche relative alla costruzione:
- Gradi di protezione IP dell'involucro;
- Distanze d'isolamento (in aria e superficiali);
- Protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione;
- Installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti;
- Circuiti elettrici interni e collegamenti;
- Terminali per conduttori esterni;
- Funzionamento meccanico.

Caratteristiche relative alla prestazione:
- Proprietà dielettriche (tensione di tenuta a 50 Hz e tensione di tenuta a impulso);
- Cablaggio e funzionamento.

Queste prove possono essere effettuate in qualsiasi ordine di successione.
Il fatto che le verifiche individuali siano effettuate dal costruttore del "quadro", non esonera l'installatore dal verificarle dopo il trasporto e l'installazione del quadro.

Le principali modifiche e novità, introdotte dalla CEI EN 61439 rispetto alla precedente CEI EN 60439, si possono riassumere con i diagrammi riportati in figura 1.1:

Figura 1.1

Norma CEI EN 60439-1

Norma CEI EN 61439-1-2

2 Caratteristiche elettriche nominali di un quadro

Tensione nominale (U_n)
È il più alto valore nominale previsto della tensione in c.a. (valore efficace) o in c.c, dichiarato dal costruttore del quadro, con cui si può alimentare il (i) circuito(i) principale(i) del quadro. Per circuiti trifase tale tensione corrisponde alla tensione concatenata tra le fasi.

Tensione nominale di impiego (U_e)
È il valore di tensione nominale di un circuito di un quadro che, insieme alla sua corrente nominale, ne determina l'utilizzazione. Per circuiti trifase tale tensione corrisponde alla tensione concatenata tra le fasi. Solitamente in un quadro esiste un circuito principale, con una propria tensione nominale, ed uno o più circuiti ausiliari con proprie tensioni nominali. Il costruttore deve assegnare i limiti di tensione da rispettare per un corretto funzionamento dei circuiti presenti all'interno del quadro.

Tensione di isolamento nominale (U_i)
È il valore di tensione di un circuito di un quadro al quale fanno riferimento la prova di tensione applicata (prova di tenuta a frequenza industriale) e le distanze superficiali. La tensione nominale di ogni circuito non deve superare la sua tensione d'isolamento nominale.

Tensione nominale di tenuta ad impulso (U_{imp})
È il valore di picco di un impulso di tensione che un circuito può sopportare in condizioni specificate; a questo valore vengono riferite le distanze in aria.
Questo valore deve essere uguale o superiore alle sovratensioni transitorie che si verificano nel sistema in cui l'apparecchiatura è inserita.

A riguardo la Norma CEI EN 61439-1 propone due tabelle:
- la Tabella G.1 (vedi tabella 2.1) indica i valori preferenziali di tensione nominale di tenuta di impulso nei diversi punti dell'impianto in funzione della tensione d'impiego verso terra;
- la Tabella 10 (vedi tabella 2.2) fornisce il valore della tensione di prova corrispondente alla tensione di tenuta ad impulso in funzione dell'altitudine alla quale viene realizzata la prova.

Tabella 2.1

Corrispondenza tra la tensione nominale del sistema d'alimentazione e la tensione nominale di tenuta ad impulso, in caso di protezione contro le sovratensioni con scaricatori conformi alla IEC 60099-1

Massimo valore di tensione nominale di impiego verso terra in c.a. (valore efficace) o in c.c. V	Tensione nominale del sistema d'alimentazione (≤ della tensione nominale d'isolamento dell'apparecchiatura) V				Valori preferenziali della tensione nominale di tenuta ad impulso (1,2/50 µs) a 2000 m kV			
					Categoria di sovratensione			
					IV	III	II	I
	c.a. valore efficace	c.a. valore efficace	c.a. valore efficace o c.c.	c.a. valore efficace o c.c.	livello all'origine dell'impianto (ingresso servizio)	Livello circuiti di distribuzione	Livello carichi (applicazione dell'apparecchiatura	Livello particolarmente protetto
50	-	-	12.5, 24, 25, 30, 42, 48	-	1.5	0.8	0.5	0.33
100	66/115	66	60	-	2.5	1.5	0.8	0.5
150	120/208 127/220	115, 120 127	110, 120	220-110, 240-120	4	2.5	1.5	0.8
300	220/380 230/400 240/415 260/440 277/480	220, 230 240, 260 277	220	440-220	6	4	2.5	1.5
600	347/600 380/660 400/690 415/720 480/830	347, 380, 400 415, 440, 480 500. 577, 600	480	960-480	8	6	4	2.5
1000	-	660 690, 720 830, 1000	1000	-	12	8	6	4

Tabella 2.2

Tensione nominale di tenuta ad impulso Uimp kV	Tensioni di tenuta ad impulso									
	U1,2/50, a.c. picco e d.c. kV					Valore efficace in c.a. kV				
	Livello del mare	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m	Sea level	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m
2.5	2.95	2.8	2.8	2.7	2.5	2.1	2	2	1.9	1.8
4	4.8	4.8	4.7	4.4	4	3.4	3.4	3.3	3.1	2.8
6	7.3	7.2	7	6.7	6	5.1	5.1	5	4.7	4.2
8	9.8	9.6	9.3	9	8	6.9	6.8	6.6	6.4	5.7
12	14.8	14.5	14	13.3	12	10.5	10.3	9.9	9.4	8.5

Corrente nominale del quadro (I_{nA})
È una nuova caratteristica introdotta dalla CEI EN 61439 e indica normalmente la più alta corrente di carico permanente e ammissibile in entrata o comunque la massima corrente sopportabile da un quadro. La corrente nominale deve essere sopportata in ogni caso, rispettando gli opportuni limiti di sovratemperatura della norma.

Corrente nominale di un circuito (I_{nC})
È il valore di corrente che un circuito deve portare mantenendo le sovratemperature, delle sue parti, entro i limiti specificati nelle condizioni di prova previste (vedi Paragrafo 7).

Corrente nominale ammissibile di breve durata (I_{cw})
È il valore efficace della corrente relativa alla prova di cortocircuito per 1 s senza apertura delle protezioni, dichiarato dal costruttore del quadro, che il quadro stesso può sopportare senza danneggiarsi nelle condizioni fissate, definite in funzione della corrente e del tempo. Ad un quadro possono essere assegnati valori diversi di I_{cw} per durate diverse (es. 0,2 s; 3 s).

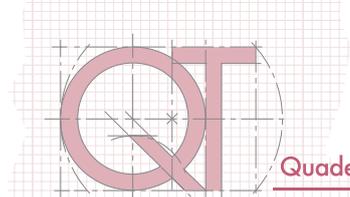
Corrente nominale ammissibile di picco (I_{pk})
È il valore di picco della corrente di cortocircuito, dichiarato dal costruttore del quadro, che il quadro stesso può sopportare nelle condizioni definite.

Corrente di cortocircuito condizionata (I_{cc})
È il valore efficace della corrente presunta di cortocircuito, fissata dal costruttore, che il circuito, protetto da un apparecchio di protezione contro il cortocircuito specificato dal costruttore, può sopportare in modo soddisfacente, durante il tempo di funzionamento di questo apparecchio, nelle condizioni di prova specificate.

Fattore nominale di contemporaneità (RDF)
È il valore, espresso per unità, assegnato dal costruttore del quadro, con il quale possono essere caricati simultaneamente ed in maniera continuativa i circuiti d'uscita di un quadro tenendo in considerazione le mutue influenze termiche. Il fattore nominale di contemporaneità si definisce per:
- un gruppo di circuiti;
- tutto il quadro.

Il fattore nominale di contemporaneità è: $\frac{\sum Ib}{\sum In}$

Il fattore nominale di contemporaneità, moltiplicato per la corrente nominale dei circuiti (In), deve essere uguale o maggiore dei carichi presunti per i circuiti d'uscita (Ib).
Tale fattore di contemporaneità è applicabile ai circuiti di uscita del quadro e dimostra la parziale caricabilità delle unità funzionali multiple.
Quando il costruttore assegna un fattore nominale di contemporaneità, questo deve essere usato per la prova di sovratemperatura, altrimenti si fa riferimento a quello consigliato dalla Norma CEI EN 61439-1 nell'Allegato E.

Frequenza nominale
È il valore della frequenza al quale fanno riferimento le condizioni di funzionamento. Se i circuiti di un quadro sono previsti per valori diversi di frequenza, deve essere precisata la frequenza nominale di ogni circuito.

3 Classificazione dei quadri elettrici

Esistono differenti classificazioni per i quadri elettrici, che dipendono da diversi fattori:
dalla tipologia costruttiva, dalla configurazione esterna, dalle condizioni d'installazione, dalla funzione assolta.

3.1 Quadri aperti e quadri chiusi

In base alla tipologia costruttiva la Norma CEI EN 61439-1 distingue innanzitutto fra quadri aperti e chiusi.

- **Chiuso**
  Il quadro è chiuso quando comprende pannelli protetti su tutti i lati tali da garantire un grado di protezione dai contatti diretti non inferiore a IPXXB (vedi capitolo 4). I quadri impiegati negli ambienti ordinari devono essere chiusi.

- **Aperto**
  I quadri aperti, con o senza protezione frontale, sono i cosiddetti quadri a giorno, in cui le parti in tensione sono accessibili. Tali quadri possono essere utilizzati soltanto nelle officine elettriche, ovvero in luoghi in cui è consentito l'accesso a personale addestrato.

3.2 Configurazione esterna

Sotto l'aspetto della configurazione esterna i quadri si distinguono in:

- **Ad armadio (colonna)**
  Utilizzati per grossi apparecchi di distribuzione e di comando; affiancando più armadi si ottengono quadri ad armadi multipli.

- **A banco**
  Utilizzati per il comando di macchine o d'impianti complessi sia del settore dell'industria meccanica sia di quella siderurgica o chimica.

- **A cassetta**
  Caratterizzati dalla posa a parete sia sporgente sia incassata; questi quadri sono utilizzati soprattutto per la distribuzione a livello di reparto o di zona negli ambienti industriali e del terziario.

- **A cassette multiple**
  Sono l'insieme di più cassette, in genere di tipo protetto e con flange di affrancamento, contenente ciascuna un'unità funzionale che può essere un interruttore automatico, un avviatore, una presa completa d'interruttore di blocco o di protezione. Si ottiene così una combinazione di scomparti a cassette meccanicamente uniti tra loro con o senza una struttura di fissaggio comune; i collegamenti elettrici tra due cassette vicine passano attraverso le aperture praticate sulle facce adiacenti.

3.3 Condizioni d'installazione

Sotto l'aspetto delle condizioni d'installazione i quadri si distinguono in:

- **Quadro per interno**
  Quadro destinato a essere utilizzato in locali in cui siano verificate le condizioni Normali di servizio per interno, come specificato nella CEI EN 61439-1, ovvero:

Condizioni ambientali d'installazione per interno

Tabella 3.1

Umidità relativa	Temperatura dell'aria	Altitudine
50% (alla temperatura massima di 40° C) 90% (alla temperatura massima di 20° C)	Temperatura massima ≤40 °C	Non superiore a 2000 m
	Temperatura massima media in un periodo di 24 ore ≤35 °C	
	Temperatura minima ≥-5 °C	

- **Quadro per esterno**
  Quadro destinato a essere utilizzato nelle Normali condizioni di servizio per installazioni all'esterno, come specificato nella CEI EN 61439-1, ovvero:

Condizioni ambientali d'installazione per esterno

Tabella 3.2

Umidità relativa	Temperatura dell'aria	Altitudine
100% temporaneamente (alla temperatura massima di 25° C)	Temperatura massima ≤40 °C	Non superiore a 2000 m
	Temperatura massima media in un periodo di 24 ore ≤35 °C	
	Temperatura minima ≥–25 °C per climi temperati	
	Temperatura minima ≥–50 °C per climi artici	

- **Quadro fisso**
  Quadro previsto per essere fissato sul luogo d'installazione, per esempio sul pavimento o su un muro e per essere utilizzato in questo luogo.

- **Quadro movibile**
  Quadro previsto per essere facilmente spostato da un luogo di utilizzo ad un altro.

3.4 Classificazione funzionale

In relazione alle funzioni cui sono destinati, i quadri possono essere suddivisi nelle seguenti tipologie:

- **Quadri principali di distribuzione**
  I quadri principali di distribuzione, detti anche Power Center (PC), sono in genere installati subito a valle dei trasformatori MT/BT o dei generatori. Questi quadri comprendono una o più unità d'ingresso, eventuali congiuntori di barra ed un numero relativamente ridotto di unità di uscita.

- **Quadri secondari di distribuzione**
  I quadri secondari comprendono una vasta categoria di quadri destinati alla distribuzione dell'energia e sono dotati solitamente di un'unità d'ingresso e di numerose unità di uscita.

- **Quadri di manovra motori**
  I quadri di manovra motori sono destinati al comando e alla protezione centralizzata dei motori; comprendono quindi le relative apparecchiature coordinate di manovra e protezione e quelle ausiliarie di comando e segnalazione. Sono anche chiamati Motor control center (MCC).

- **Quadri di comando, misura e protezione**
  I quadri di comando, misura e protezione, sono in genere costituiti da banchi che contengono prevalentemente apparecchiature destinate al comando, alla misura e al controllo degli impianti e dei processi industriali.

- **Quadri a bordo macchina**
  I quadri a bordo macchina, detti anche quadri d'automazione, sono funzionalmente simili ai precedenti; hanno il compito di consentire l'interfacciamento della macchina con la sorgente di energia elettrica e con l'operatore. Ulteriori prescrizioni per i quadri che sono parte integrante della macchina sono stabilite dalla serie IEC 60204.

- **Quadri per cantiere**
  I quadri per cantiere hanno varie dimensioni, che vanno dalla semplice unità di prese a spina a veri e propri quadri di distribuzione in involucro metallico o in materiale isolante.
  Sono generalmente di tipo mobile o comunque trasportabile.

4 Grado di protezione IP in un quadro

Il grado di protezione IP indica il livello di protezione dell'involucro contro l'accesso a parti pericolose, contro la penetrazione di corpi solidi estranei e contro l'ingresso di acqua.
Il codice IP è il sistema di identificazione dei gradi di protezione, conformemente a quanto prescritto nella Norma CEI EN 60529.

Riportiamo, nella seguente tabella, anche in dettaglio il significato delle diverse cifre e lettere

Figura 4.1

Tabella 4.1

	Protezione dell'apparecchiatura	Contro l'accesso a parti pericolose con:
Prima cifra caratteristica (ingresso di corpi solidi)	**0**	non protetto
	1 ≥ 50 mm di diametro dorso della mano	dorso della mano
	2 ≥ 12,5 mm di diametro dito	dito
	3 ≥ 2,5 mm di diametro attrezzo	attrezzo
	4 ≥ 1 mm di diametro filo	filo
	5 protetto contro la polvere	filo
	6 totalmente protetto contro la polvere	filo
Seconda cifra caratteristica (penetrazione dell'acqua)	**0** non protetto	
	1 caduta verticale	
	2 caduta di goccie d'acqua (inclinazione 15°)	
	3 pioggia	
	4 spruzzi d'acqua	
	5 getti d'acqua	
	6 getti potenti (simili a ondate marine)	
	7 immersione temporanea	
	8 immersione continua	
Lettera addizionale (opzionale)	**A**	dorso della mano
	B	dito
	C	attrezzo
	D	filo
Lettera supplementare (opzionale)	**H** Apparecchiatura ad alta tensione	
	M Prova con acqua con apparecchiatura in moto	
	S Prova con acqua con apparecchiatura in moto	
	W Condizioni atmosferiche	

La lettera addizionale indica il grado di protezione per le persone contro l'accesso a parti pericolose.
Le lettere addizionali sono usate solo:
- se la protezione effettiva contro l'accesso a parti pericolose è superiore a quella indicata dalla prima cifra caratteristica;
- oppure se è indicata solo la protezione contro l'accesso a parti pericolose, la prima cifra caratteristica viene allora sostituita con una X.

Questa protezione superiore potrebbe essere fornita, per esempio, da barriere, da aperture di forma adeguata o da distanze interne delle parti pericolose dall'involucro.

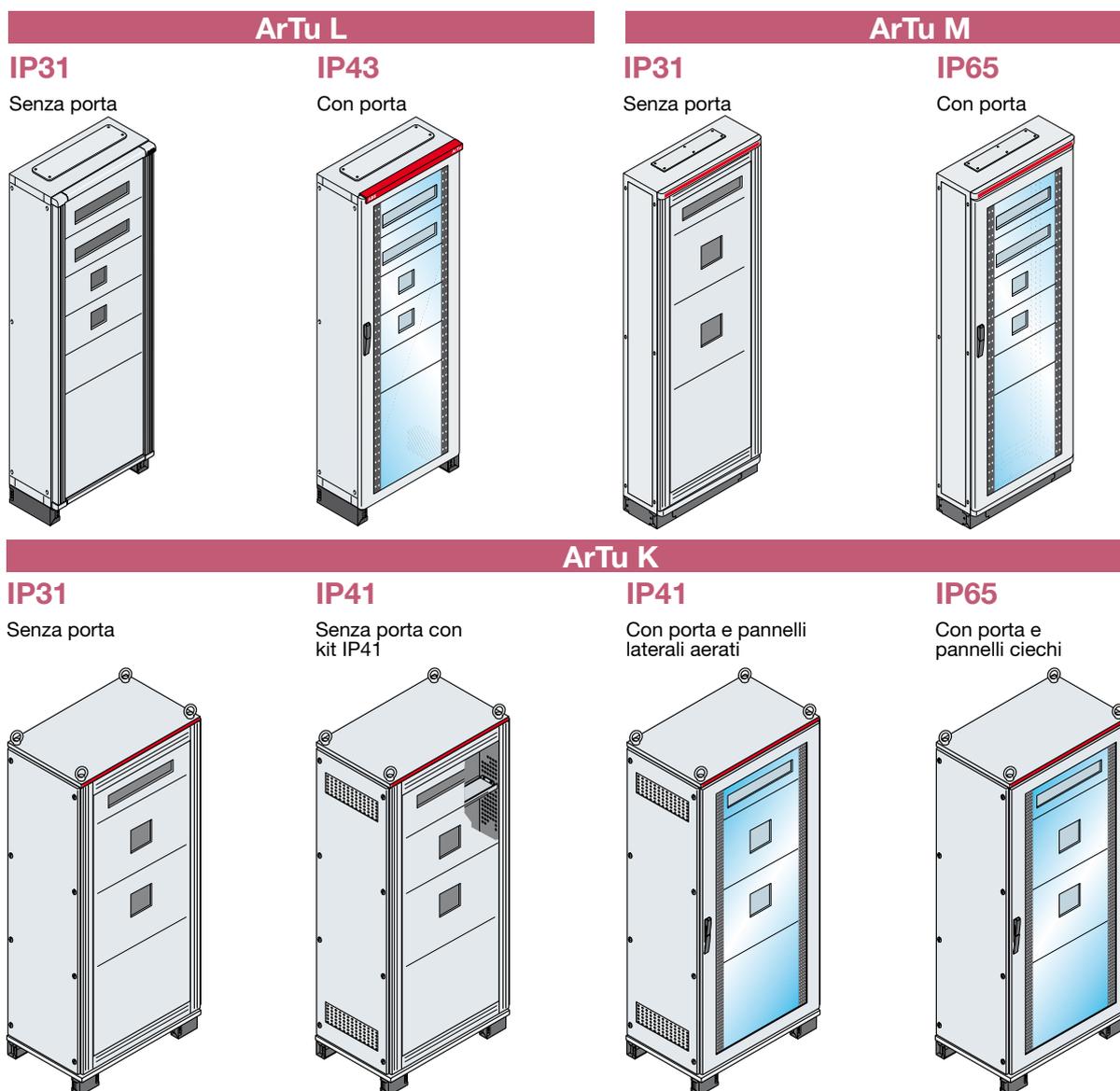
4.1 Grado di protezione IP nei quadri ArTu

Per quanto riguarda i quadri, se non diversamente specificato dal costruttore, il grado di protezione vale per l'intero quadro, montato ed installato come nell'uso ordinario (a porta chiusa).
Il costruttore può inoltre indicare i gradi di protezione relativi a particolari configurazioni che si possono presentare in esercizio, come ad esempio il grado di protezione a porte aperte e quello ad apparecchi asportati o estratti.

Per i quadri destinati ad uso interno, in ambienti dove non c'è il rischio di penetrazione di acqua, la Norma stabilisce i seguenti gradi minimi di protezione: IP 00, IP 2X, IP 3X, IP 4X, IP 5X, IP 6X.

Per i quadri chiusi, il grado IP deve essere ≥2X dopo l'installazione, in accordo con le istruzioni fornite dal costruttore del quadro. Il grado IP per il fronte e per il retro deve essere almeno uguale a IP XXB. Per i quadri previsti per l'uso all'esterno e senza protezione supplementare, la seconda cifra caratteristica della sigla IP deve essere almeno uguale a 3.

Riportiamo ora i gradi di protezione ottenibili con quadri ArTu di ABB SACE.

Figura 4.2

4.2 Grado di protezione IP ed ambiente di installazione

Allo stato attuale non esiste una Normativa che metta in relazione il grado di protezione IP e l'ambiente nel quale viene inserito il quadro, a meno di ambienti particolari con pericolo di esplosione (CEI 64-2).

A titolo indicativo viene riportata questa tabella ricavata dalla guida UTE C 15-103 che mette in relazione gli ambienti ed i gradi di protezione dei quadri ArTu di ABB SACE

Si ricorda che i quadri ArTu di ABB SACE sono quadri per interno.

Tabella 4.2

Stabilimenti industriali	IP31-41	IP43	IP65
accumulatori (fabbricazione)		•	
acidi (fabbricazione e deposito)		•	
alcolici (deposito)		•	
alcool (fabricazione e deposito)		•	
alluminio (fabricazione e deposito)			•
animali (allevamento)			•
asfalto bitume (deposito)			•
birrifici			•
calce (forni a)			•
carbone (magazzini)			
carburanti (fabbricazione e deposito)			•
carta (deposito)	•		
carta (fabbricazione)		•	•
carta (preparazione dell'impasto)			•
cartone (fabbricazione)		•	
catene di imbottigliamento			•
catrame (trattamento)		•	
cave			•
celluloide (fabbricazione di oggetti)	•		
cellulosa (fabbricazione)			•
cementifici			•
cloro (frabbricazione e deposito)		•	
cokerie			•
colle (fabbricazione)		•	
combustibili liquidi (depositi)		•	
concerie			•
concimi (fabbricazione e deposito)			•
cromatura (fabbriche di)		•	
decapaggio			•
detergenti (fabbricazione)			•
distilllerie		•	
elettrolisi		•	
esplosivi (fabbricazione e deposito)			•
falegnamenrie			•
ferramenta (fabbricazione)	•		
ferro (fabbricazione e trattamento)			•
filande			•
formaggerie			•
gas (fabbriche e deposito)	•		
gessi (fabbricazione e deposito)			•
gommapiuma (fabbricazione, trasformazione)			•
granaglie (fabbriche e deposito)			•
grassi (trattamento dei corpi grassi)			•
idrocarburi (estrazione)		•	•
inchiostri (fabbricazione)	•		

Stabilimenti industriali	IP31-41	IP43	IP65
incisione dei metalli		•	
lana (cardatura della)			•
latterie			•
lavanderie		•	•
lavatoi pubblici			•
legno (lavorazione del)			•
liquidi alogeni (impiego)	•		
liquidi infiammabili (deposito e impiego)	•		
liquori (frabbricazione)	•		
macchine (sale macchine)	•		
macellerie			•
magnesio (fabbricazione, lavorazione e deposito)	•		
materie plastiche (fabbricazione)			•
mattatoi			•
mattoni (fabbrica di)			•
metalli (trattamento dei metalli)		•	
motori termici (prove)	•		
munizioni (depositi)		•	
nichel (trattamento dei minerali)		•	
oli (estrazione)	•		
pelle (fabbricazione e deposito)	•		
pellicce (battitura)			•
pittura (fabbricazione e deposito)		•	
polverificio			•
prodotti chimici (fabbricazione)	•		•
profumi (fabbricazione e deposito)	•		
raffinerie di petrolio			•
rame (trattamento dei minerali)	•		
rifiuti (trattamento)			•
saldature		•	
salumifici			•
saponi (fabbricazione)	•		
segherie			•
seta e crine (preparazione)			•
silos di cereali o zucchero			•
soda (fabbricazione e deposito)		•	
tessuti (fabbricazione)			•
tintorie			•
tipografie	•		
vernici (fabbricazione e utilizzo)		•	
vestiti (depositi)	•		
vetrerie		•	
zinco (lavorazione dello zinco)	•		
zolfo (trattamento)			•
zuccherifici			•

4.3 Grado di protezione IP e riscaldamento

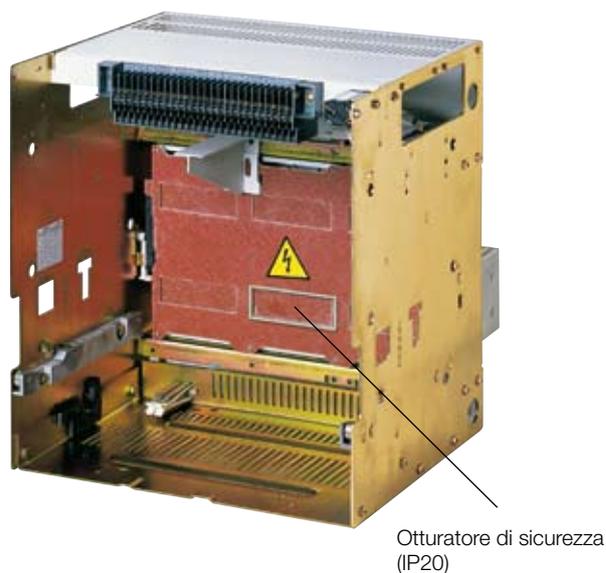
Il grado di protezione di un quadro influenza la capacità di smaltire il calore: più il grado di protezione è elevato tanto meno il quadro riesce a smaltire calore; per questa ragione si consiglia di utilizzare un grado di protezione adeguato all'ambiente d'installazione.
Per esempio, utilizzando un quadro ArTu K con portella e pannelli laterali areati si garantisce un grado di protezione pari a IP41, mentre se si utilizzano i pannelli laterali ciechi il grado diventa IP65.

Entrambi i quadri garantiscono la non accessibilità agli interruttori tramite la porta frontale; il quadro con i pannelli laterali areati permette però una miglior ventilazione rispetto al quadro con pannelli laterali ciechi.
È quindi preferibile utilizzare il primo se l'ambiente d'installazione lo permette.

4.4 Grado di protezione IP di parti asportabili

La rimozione di parti mobili in un quadro installato è realizzabile in due situazioni diverse:
1) la rimozione della parte asportabile di un componente (es: interruttore estraibile, sezionatore estraibile, basetta portafusibili) predisposta per tale funzione, per riparazione, controllo o manutenzione;
2) la rimozione di una parte fissa, come flange, pannelli, coperchi o zoccoli, per lavori elettrici, come la realizzazione di nuove linee di entrata o uscita o la sostituzione di cavi esistenti.
Nel primo caso deve essere mantenuto lo stesso grado IP precedente alla rimozione, che in genere è IP2X; gli otturatori di sicurezza, posti sulla parte fissa degli interruttori aperti estraibili, consentono di rispettare tale specifica (vedi figura 4.3). Se il grado IP fosse stato più elevato (es: IP44, IP55 o altro), la parte asportabile sarebbe stata all'interno dell'involucro che, una volta richiuso, deve ripristinare tale condizione.

Nel caso di lavori elettrici, se dopo la rimozione di una parte fissa per mezzo di un attrezzo, il grado di protezione originale non fosse mantenuto, si devono adottare gli opportuni provvedimenti prescritti dalle norme CEI 11-48 e CEI 11-27, per assicurare un adeguato livello di sicurezza agli operatori.

Figura 4.3

5 Gradi di protezione IK degli involucri

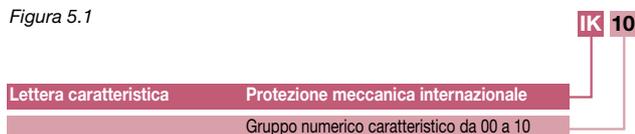
Il grado IK indica il livello di protezione fornito dall'involucro all'apparecchiatura contro gli impatti meccanici dannosi, ed è verificato mediante metodi di prova Normalizzati.

Il codice IK è il sistema di codifica per indicare il grado di protezione fornito da un involucro contro gli impatti meccanici dannosi, conformemente a quanto prescritto nella Norma CEI EN 62262 del 2008.

Il grado di protezione dell'involucro contro gli impatti è indicato dal codice IK nel seguente modo:

Figura 5.1

IK 10

Lettera caratteristica	Protezione meccanica internazionale
	Gruppo numerico caratteristico da 00 a 10

Ciascun gruppo numerico caratteristico rappresenta un valore d'energia d'impatto come indicato nella tabella 5.1. In genere il grado di protezione si applica all'involucro completo.

Se parti dell'involucro hanno diversi gradi di protezione, questi ultimi devono essere indicati separatamente.

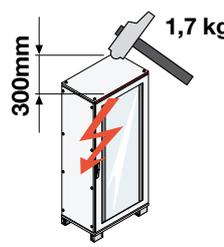
5.1 Gradi di protezione IK dei quadri ArTu

Per quando riguarda i quadri ArTu, il grado di protezione IK vale per l'intero quadro, montato ed installato come nell'uso ordinario (a porta chiusa).

Riportiamo di seguito i gradi di protezione contro impatti meccanici esterni (codice IK) dei quadri della serie ArTu.

Figura 5.2

Tabella 5.1

Relazione tra il grado di protezione IK e l'energia di impatto

Codice IK	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energia di impatto in joule	(*)	0,14	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

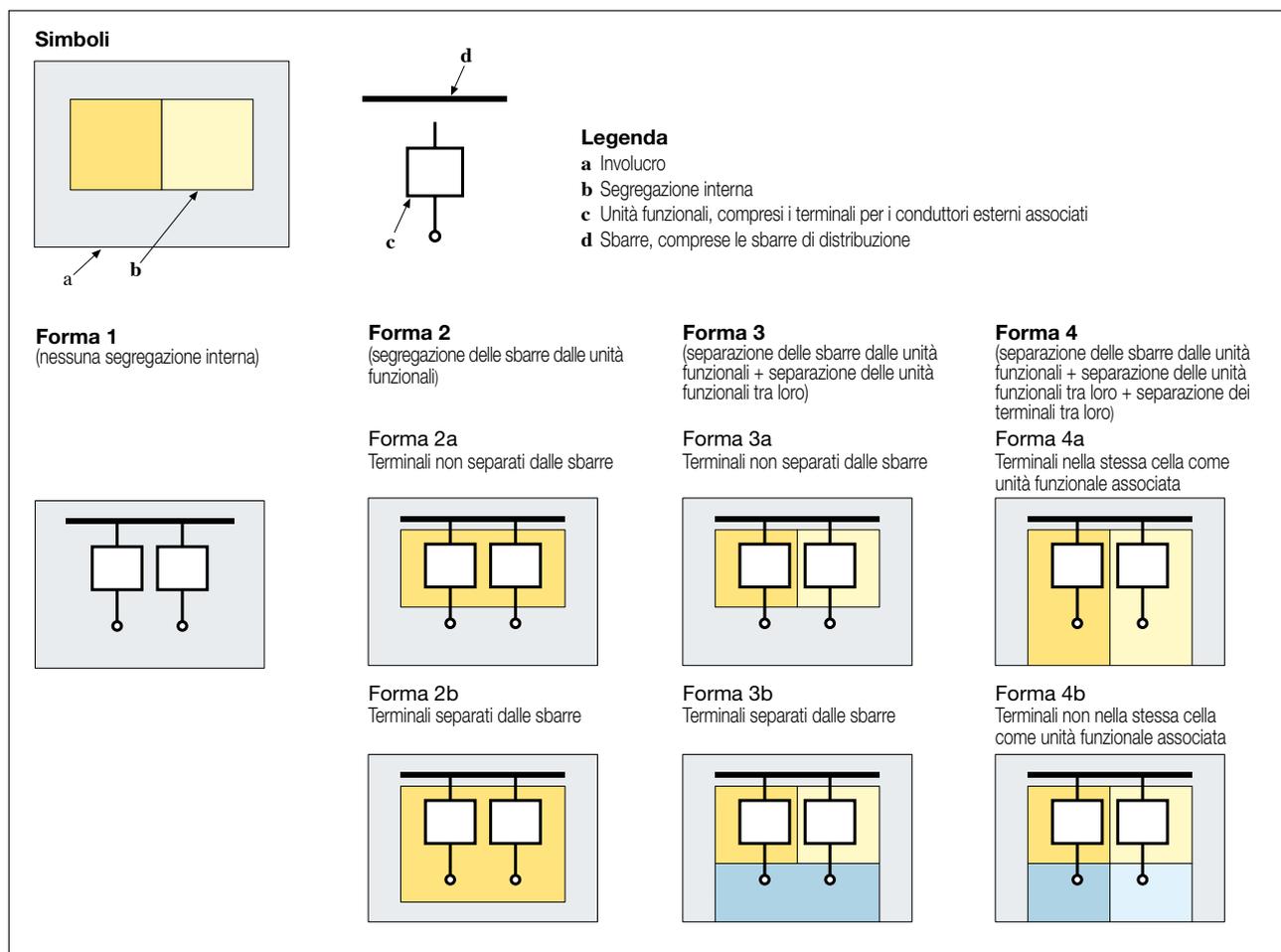
(*) Non protetto secondo la Norma

6 Forme di segregazione

Per forma di segregazione s'intende il tipo di suddivisione prevista all'interno del quadro.
La segregazione mediante barriere o diaframmi (metallici o isolanti) può avere lo scopo di:
- assicurare la protezione contro i contatti diretti (almeno IPXXB), in caso d'accesso ad una parte del quadro posta fuori tensione, rispetto al resto del quadro rimasto in tensione;
- ridurre la probabilità d'innesco e di propagazione di un arco interno;
- impedire il passaggio di corpi solidi fra parti diverse del quadro (grado di protezione almeno IP2X).

Per diaframma s'intende l'elemento di separazione tra due celle, mentre la barriera protegge l'operatore dai contatti diretti e dagli effetti dell'arco degli apparecchi di interruzione nella direzione abituale di accesso.

La seguente tabella riportata nella Norma CEI EN 61439-2 evidenzia le forme tipiche di segregazione che si possono ottenere mediante l'utilizzo di barriere o diaframmi:

Tabella 6.1

I quadri ABB SACE ArTu K possono, mediante kit, realizzare le seguenti forme di segregazione:

forma 1 nessuna segregazione.
forma 2 copre la forma 2a e la forma 3a della Norma.
forma 3 copre la forma 3b della Norma
forma 4 copre la forma 4b della Norma

7 Verifica dei limiti di sovratemperatura all'interno di un quadro

7.1 Introduzione

La verifica dei limiti di sovratemperatura imposti dalla Norma CEI EN 61439-1 può essere effettuata con uno o più dei seguenti metodi:

- prova di verifica con corrente (in laboratorio);
- derivazione con regole di progetto;
- calcolo algebrico.

La Norma CEI EN 61439-1 impone, in effetti, il rispetto degli stessi limiti di sovratemperatura della precedente versione, che non devono essere superati durante la prova di riscaldamento.

Queste sovratemperature si applicano considerando una temperatura ambiente che non deve superare i +40 °C ed il suo valore medio riferito ad un periodo di 24 ore non deve superare i +35 °C.

Di seguito, in Tabella 7.1, sono riportati, per i vari componenti del quadro, i limiti di sovratemperatura forniti dalla Norma.

Tabella 7.1

Parti del quadro	Sovratemperature K
Componenti incorporati [a]	(*) In accordo con le relative prescrizioni delle norme di prodotto per i componenti singoli, o secondo le istruzioni del costruttore del componente [f], tenendo in considerazione la temperatura interna del quadro
Terminali per conduttori esterni isolati	70 [b]
Sbarre e conduttori	Limitata da: - resistenza meccanica del materiale conduttore [g]; - possibili influenze sull'apparecchio adiacente; - limite di temperatura ammissibile per i materiali isolanti a contatto con il conduttore; - influenza della temperatura del conduttore sugli apparecchi ad esso connessi; - per i contatti ad innesto, natura e trattamento superficiale del materiale dei contatti.
Organi di comando manuale:	
- di metallo	15 [c]
- di materiale isolante	25 [c]
Involucri e coperture esterne accessibili:	
- superfici metalliche	30 [d]
- superfici isolanti	40 [d]
Connessioni particolari del tipo presa a spina e spina	Determinata dai limiti fissati per i componenti dell'apparecchio di cui fanno parte [e]

[a] Il termine "componenti incorporati" significa:
- apparecchi convenzionali di protezione e di manovra;
- sottoassiemi elettronici (per es. ponti raddrizzatori, circuiti stampati);
- parti d'equipaggiamento (per es. regolatore, alimentatore stabilizzato di potenza, amplificatore operazionale).

[b] Il limite di sovratemperatura di 70 K è un valore basato sulla prova convenzionale riportata in 10.10. Un quadro utilizzato o provato nelle condizioni d'installazione può avere connessioni il cui tipo, natura e disposizione sono diversi da quelli utilizzati per la prova; può quindi essere richiesta o accettata una sovratemperatura diversa sui terminali di connessione. Quando i terminali dei componenti incorporati sono anche i terminali per i conduttori esterni isolati, si deve applicare il corrispondente limite di sovratemperatura più basso.

[c] Per gli organi di comando manuale posti all'interno dei quadri, accessibili solo dopo l'apertura del quadro, per es. manopole d'estrazione d'uso poco frequente, è ammesso un aumento di 25 K su questi limiti di sovratemperatura.

[d] Se non diversamente specificato, in caso di coperture e involucri che sono accessibili ma che non richiedono di essere toccati in condizioni normali di servizio, è ammesso un aumento di 10 K su questi limiti di sovratemperatura. Superfici esterne e parti sopra i 2 m dalla base del quadro si considerano non accessibili.

[e] Ciò permette un grado di flessibilità rispetto all'apparecchiatura (per es. dispositivi elettronici) soggetta a limiti di sovratemperatura diversi da quelli normalmente attribuiti agli apparecchi di protezione e manovra.

[f] Per le prove di sovratemperatura secondo 10.10, i limiti di sovratemperatura devono essere specificati dal costruttore originale, tenendo in considerazione altri punti di misura ed i limiti imposti dal costruttore del componente.

[g] Supponendo che tutti gli altri criteri elencati siano soddisfatti, non deve essere superata una sovratemperatura massima di 105 K per sbarre e conduttori di rame nudi.

Nota: I 105 K si riferiscono alla temperatura oltre la quale si può verificare la ricottura del rame. Altri materiali possono avere sovratemperature massime differenti.

(*) Per quanto riguarda gli interruttori installati in quadro, i limiti di sovratemperatura sono i seguenti:
- *70 K se al terminale è collegato un conduttore isolato;*
- *85 K per i terminali degli interruttori ABB, se questi non sono collegati direttamente a conduttori isolati (la sovratemperatura di 85 K è sempre in riferimento alla temperatura ambiente esterna al quadro di 35°C).*

Figura 7.1

Connessione con sbarra

Connessione con cavo isolato PVC

7.2 Verifica termica del quadro

Scopo di questo documento è di fornire, per i quadristi che utilizzano i quadri ABB, un supporto che permetta la verifica delle sovratemperature all'interno dei quadri secondo i criteri conformi alla CEI EN 61439.
Dal punto di vista della certificazione del quadro, per quanto riguarda le sovratemperature, è possibile seguire una delle tre nuove procedure di verifica disponibili e in particolare:

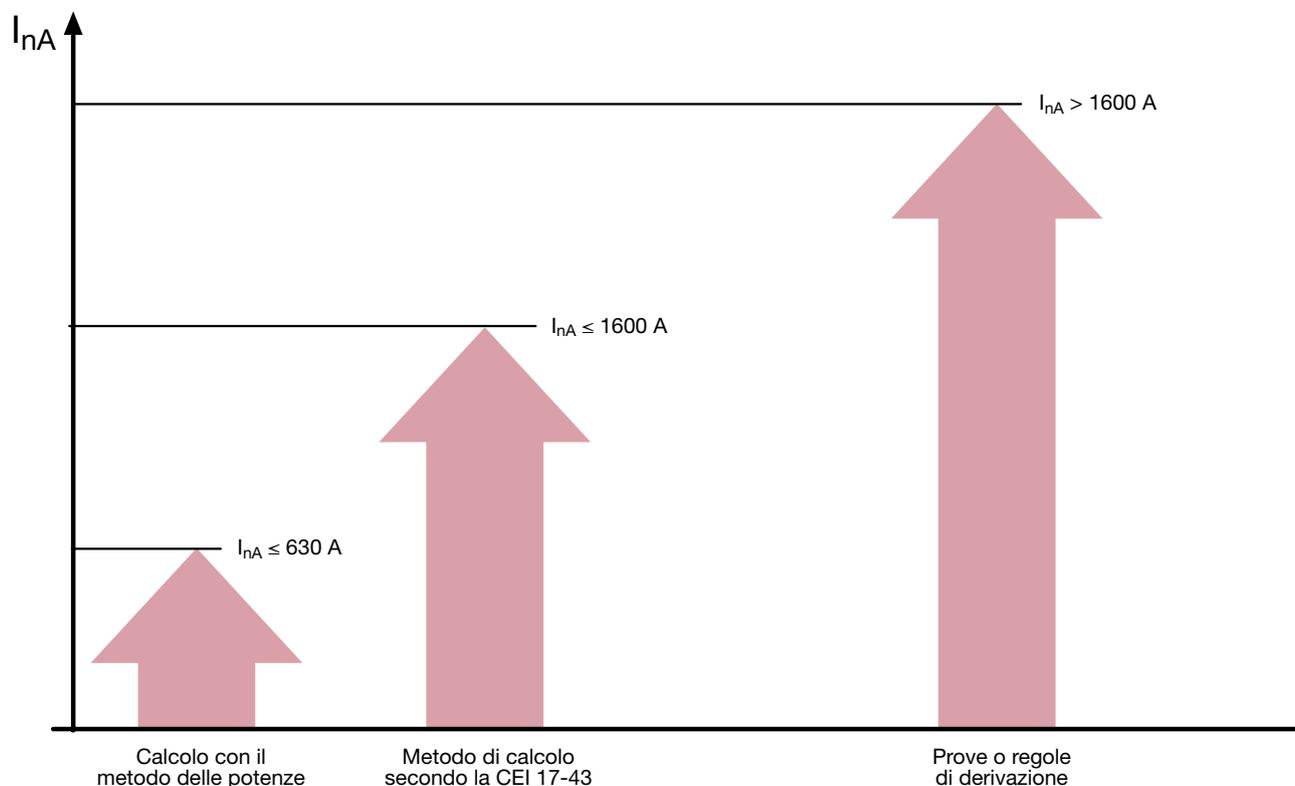
1) la prova di verifica (prima definita prova di tipo) in cui, su alcuni quadri prototipo, effettivamente testati con corrente in sala prove, si rilevano, in prefissati punti interni al quadro, le sovratemperature raggiunte e mantenute a regime.
   Questi valori sono poi confrontati con quelli ammissibili (riportati in Tabella 7.1); se i valori misurati sono minori o uguali a quelli ammissibili, la prova si considera superata con quelle correnti e con quelle determinate condizioni al contorno (temperatura ambiente, umidità ecc);

2) la derivazione (da un quadro cablato provato) di varianti similari; questa procedura, applicabile disponendo appunto dei dati ottenuti dai test, è usata per la verifica di conformità dei quadri non provati ma rispondenti a precise regole comparative rispetto ai quadri testati.
   I quadri derivati si considerano conformi se, rispetto ai quadri provati, hanno:
   - le unità funzionali dello stesso tipo (es: stessi schemi elettrici, apparecchi della stessa taglia, stessa disposizione e fissaggio, stessa struttura di montaggio, stessi cavi e cablaggi) di quelle usate nell'unità provata;
   - lo stesso tipo di costruzione come quello usato per la prova;
   - le stesse o maggiori dimensioni esterne di quelle usate per la prova;
   - le stesse o migliorative condizioni di raffreddamento di quelle usate per la prova (convezione forzata o naturale, stesse o maggiori aperture di ventilazione);
   - la stessa o inferiore forma di segregazione interna di quella usata per la prova (se esiste);
   - la stessa o minore potenza dissipata nello stesso scomparto di quella usata per la prova;
   - lo stesso o ridotto numero di circuiti di uscita per ogni scomparto.

3) la verifica delle sovratemperature per mezzo di calcoli. In questo caso si prescinde dalle prove di laboratorio e si sfruttano algoritmi matematici di tipo termodinamico, che sono tra l'altro già in uso da anni presso i quadristi assemblatori. Questi metodi di puro calcolo sono due, distinti e indipendenti tra loro e in alternativa alle prove. Essi sono:

   a) il cosiddetto "metodo delle potenze" che si fonda sul non superamento di un tetto limite di potenza termica dissipabile in un determinato involucro.
      Per stabilire questo valore delle perdite, in watt, si simula il riscaldamento del quadro vuoto inserendovi dei resistori di riscaldamento calibrati, che porteranno a regime termico l'involucro.
      Una volta raggiunto il regime termico e dopo aver verificato che le sovra-temperature rientrano nei limiti tabulati (vedi Tabella 7.1), si ricava, per ogni involucro, il valore massimo della potenza termica dissipabile.
      Questo metodo comporta alcune limitazioni e in particolare si applica a quadri:
      - a singolo scomparto e con corrente fino a 630 A;
      - con una distribuzione omogenea delle perdite interne;
      - in cui le parti meccaniche e le apparecchiature installate sono disposte in modo da non ostacolare, se non in maniera modesta, la circolazione dell'aria;
      - in cui i conduttori che trasportano correnti superiori a 200 A e le parti strutturali sono disposti in modo che le perdite per correnti parassite siano trascurabili;
      - contenenti apparecchiature impiegate entro l'80% della specifica corrente convenzionale termica in aria libera.

   b) l'algoritmo di calcolo della norma CEI 17-43, applicabile a quadri con più celle e corrente nominale fino a 1600 A (prima era fino a 3150 A).
      In questo caso si utilizzano delle procedure di calcolo algebrico senza dati sperimentali.
      Si tratta di un procedimento di calcolo che porta al tracciamento, dal basso verso l'alto, della mappa termica a regime del quadro, secondo valori di temperatura linearmente crescenti, che raggiungono il valore massimo proprio in cima all'involucro.
      In questo modo è possibile, attraverso la potenza totale dissipata, valutare la sovratemperatura ai diversi strati, all'interno del quadro, dal basso verso l'alto.

Figura 7.2

Con i soli metodi di calcolo si può verificare la conformità alle sovratemperature dei quadri aventi correnti nominali:
- non superiori a 630 A con il metodo delle potenze
- non superiori a 1600 A con la CEI 17-43

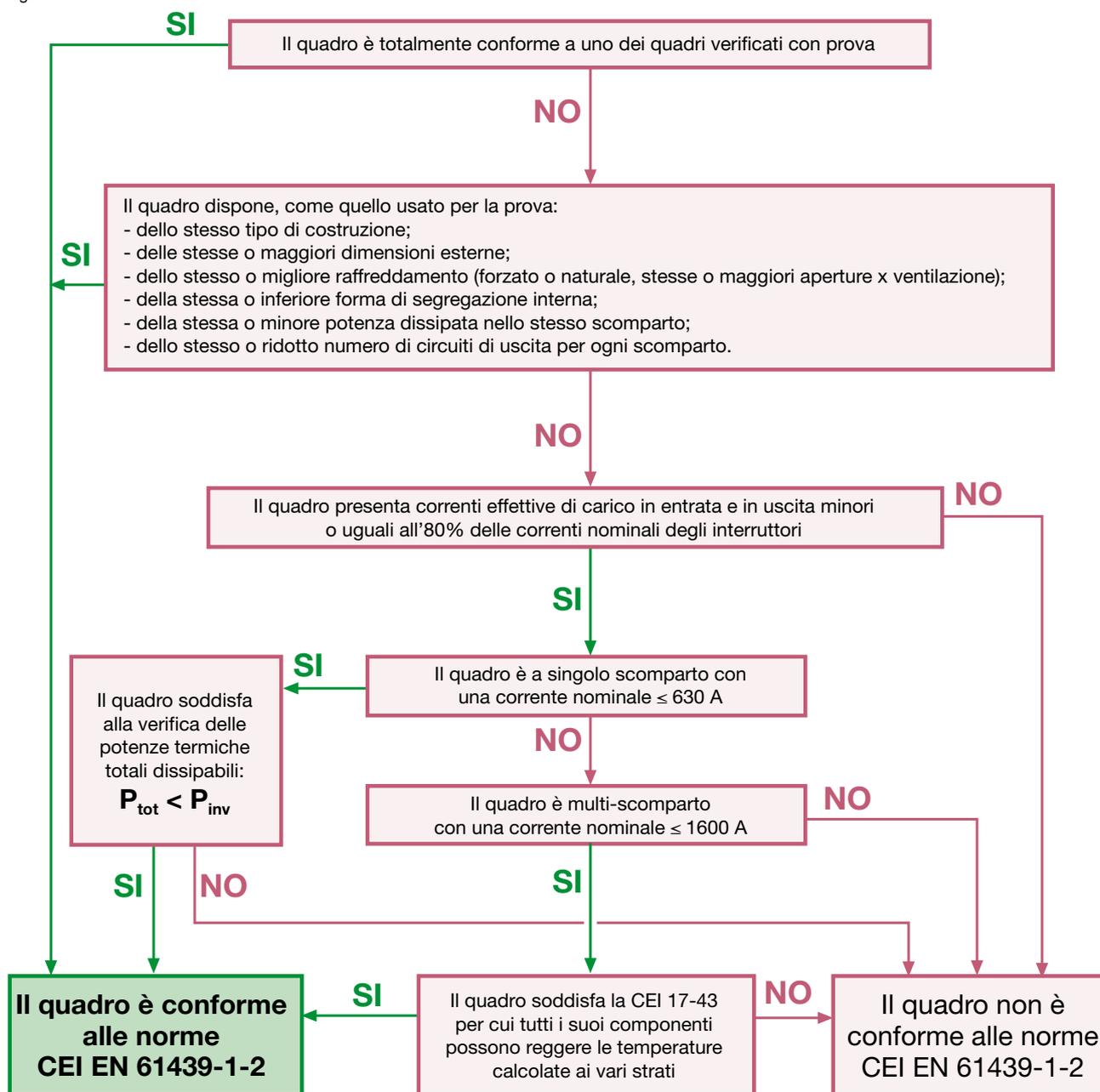
La verifica della sovratemperatura si può effettuare con prova di tipo o con le regole di derivazione, senza alcun limite alla potenza o alla corrente del quadro.

Il metodo seguito in questo documento si basa proprio sul calcolo della sovratemperatura dell'aria, all'interno del quadro, tramite la suddetta CEI 17-43.
Questa Norma e la CEI EN 61439-1 prevedono che il metodo di calcolo è applicabile solo se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- la corrente nominale dei circuiti del quadro non deve superare l'80% della corrente nominale (in aria libera) dei dispositivi di protezione e dei componenti elettrici installati nel circuito.
- la ripartizione della potenza dissipata all'interno dell'involucro è sostanzialmente uniforme e non incontra ostacoli al suo smaltimento verso l'esterno del quadro;
- il quadro installato è disposto in modo da non ostacolare, se non in maniera modesta, la circolazione dell'aria;
- il quadro installato è previsto per DC o per AC fino a 60 Hz compresi, con la somma delle correnti dei circuiti di alimentazione non superiore a 1600 A;
- i conduttori che portano correnti superiori a 200 A e le parti strutturali sono disposti in modo che le perdite per correnti parassite siano trascurabili;
- per gli involucri con aperture di ventilazione, la sezione delle aperture d'uscita dell'aria è almeno 1,1 volte la sezione delle aperture di entrata;
- non ci sono più di tre diaframmi orizzontali per ciascuno dei suoi scomparti;
- qualora gli involucri con aperture esterne di ventilazione siano suddivisi in celle, la superficie delle aperture di ventilazione in ogni diaframma interno orizzontale deve essere almeno uguale al 50% della sezione orizzontale della cella.

Nelle applicazioni con quadri segregati non tutte le ipotesi d'applicabilità della CEI 17-43 risultano soddisfatte; si è deciso di utilizzare comunque questo metodo di calcolo anche in questi casi poiché, essendo valido anche per quadri in materiale isolante, risulta conservativo nel caso di carpenteria metallica.

La verifica termica del quadro (con calcoli o regole di derivazione) si può riassumere con il seguente diagramma.

Figura 7.3

7.3 Calcolo delle sovratemperature secondo la CEI 17-43

In figura 7.4 sono riportate le diverse modalità d'installazione considerate nella Norma CEI 17-43

Calcolo delle potenze prodotte dai diversi componenti e dissipate all'interno del quadro
Il calcolo delle potenze dissipate, riportate nelle configurazioni presentate, è realizzato tenendo conto delle effettive potenze dissipate dai diversi componenti.

Interruttori
Date le potenze dissipate alla corrente nominale (I_n), riportate nelle tabelle che seguono, e la corrente che effettivamente attraversa gli interruttori (I_b) si può determinare la potenza effettivamente dissipata dagli apparecchi:

$$P\,(I_b) = P\,(I_n)\left(\frac{I_b}{I_n}\right)^2$$

I valori cosi determinati devono essere maggiorati per un fattore che dipende dal tipo d'interruttore.
Questo coefficiente serve a tener conto dei collegamenti che portano corrente agli interruttori.

Tabella 7.2

Tipologia d'interruttore	Aperti e grossi scatolati (T7)	Scatolati	Modulari
Coefficiente maggiorativo (C)	1,3	1,5	2

Figura 7.4

Involucro separato esposto su tutti i lati

Involucro separato montaggio a muro

Primo o ultimo involucro esposto

Primo o ultimo involucro montaggio a muro

Involucro centrale esposto

Involucro centrale montaggio a muro

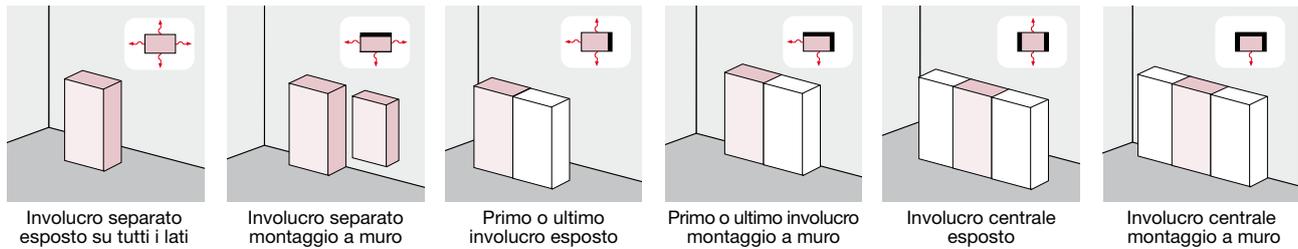



Tabella 7.3

Potenze dissipate - interruttori scatolati SACE Tmax XT

Potenza dissipata totale (3/4 poli) [W]

Sganciatore	In [A]	XT1 F	XT1 P	XT2 F	XT2 P/W	XT3 F	XT3 P	XT4 F	XT4 P/W
TMD TMA TMG MA MF	1,6			6	7,14				
	2			7,14	8,28				
	2,5			7,41	8,55				
	3			8,28	9,69				
	4			7,41	8,55				
	6,3			9,99	11,7				
	8			7,71	9,12				
	10			8,85	10,26				
	12,5			3,15	3,72				
	16	4,5	4,8	3,99	4,56				
	20	5,4	6	4,86	5,7				
	25	6	8,4						
	32	6,3	9,6	7,71	9,12			13,32	13,32
	40	7,8	13,8	11,13	13,11			13,47	14,16
	50	11,1	15	12,27	14,25			14,04	14,76
	63	12,9	18	14,55	17,1	12,9	15,3	15,9	17,28
	80	14,4	21,6	17,4	20,52	14,4	17,4	16,56	18
	100	21	30	24,24	28,5	16,8	20,4	18,72	20,88
	125	32,1	44,1	34,2	41,91	19,8	23,7	22,32	25,92
	160	45	60	48,45	57	23,7	28,5	26,64	32,4
	200					39,6	47,4	35,64	44,64
	250					53,4	64,2	49,32	63,36

F: fisso W: estraibile P: rimovibile

Tabella 7.4

Potenze dissipate – interruttori scatolati Tmax

Potenza dissipata totale (3/4 poli) [W]

Sganciatore	In [A]	T11P	T1	T2		T3		T4		T5		T6		T7 S,H,L		T7 V	
		F	F	F	P	F	P	F	P/W	F	P/W	F	W	F	W	F	W
TMF TMD TMA MA MF	1			4,5	5,1												
	1,6			6,3	7,5												
	2			7,5	8,7												
	2,5			7,8	9												
	3,2			8,7	10,2												
	4			7,8	9												
	5			8,7	10,5												
	6,3			10,5	12,3												
	8			8,1	9,6												
	10			9,3	10,8												
	12,5			3,3	3,9												
	16	1,5	4,5	4,2	4,8												
	20	1,8	5,4	5,1	6			10,8	10,8								
	25	2	6	6,9	8,4												
	32	2,1	6,3	8,1	9,6			11,1	11,1								
	40	2,6	7,8	11,7	13,8												
	50	3,7	11,1	12,9	15			11,7	12,3								
	63	4,3	12,9	15,3	18	12,9	15,3										
	80	4,8	14,4	18,3	21,6	14,4	17,4	13,8	15								
	100	7	21	25,5	30	16,8	20,4	15,6	17,4								
	125	10,7	32,1	36	44,1	19,8	23,7	18,6	21,6								
	160	15	45	51	60	23,7	28,5	22,2	27								
	200					39,6	47,4	29,7	37,2								
	250					53,4	64,2	41,1	52,8								
	320									40,8	62,7						
	400									58,5	93						
	500									86,4	110,1						
	630											92	117				
	800											93	119				
PR221 PR222 PR223 PR231 PR232 PR331 PR332	10			1,5	1,8												
	25			3	3,6												
	63			10,5	12												
	100			24	27,2			5,1	6,9								
	160			51	60			13,2	18								
	250							32,1	43,8								
	320							52,8	72	31,8	53,7						
	400									49,5	84			15	27	24	36
	630									123	160,8	90	115	36	66	60	90
	800											96	125	57,9	105,9	96	144
	1000											150		90	165	150	225
	1250													141	258	234,9	351,9
	1600													231	423		

F: fisso - W: estraibile - P: rimovibile

Tabella 7.5

Potenze dissipate – interruttori aperti Emax e X1

Potenza dissipata totale (3/4 poli) [W]

Iu [A]	X1B-N		X1L		E1B-N		E2B-N-S		E2L		E3N-S-H-V		E3L		E4S-H-V		E6H-V	
	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W
In=630	31	60	61	90														
In=800	51	104	99	145	65	95	29	53			22	36						
In=1000	79	162	155	227	96	147	45	83			38	58						
In=1250	124	253	242	354	150	230	70	130	105	165	60	90						
In=1600	203	415			253	378	115	215	170	265	85	150						
In=2000							180	330			130	225	215	330				
In=2500											205	350	335	515				
In=3200											330	570			235	425	170	290
In=4000															360	660	265	445
In=5000																	415	700
In=6300																	650	1100

F: fisso - W: estraibile

I valori indicati nelle tabelle si riferiscono a carichi equilibrati, con correnti nelle fasi pari a In, e sono validi per interruttori e per sezionatori sia tripolari che tetra polari. Per questi ultimi la corrente nel neutro è nulla per definizione.

Per ulteriori informazioni e approfondimenti fare riferimento ai rispettivi cataloghi tecnici di prodotto.

Barre di distribuzione
Le barre presenti nella colonna in esame devono essere considerate nel computo della potenza dissipata.
La lunghezza può essere determinata approssimativamente tramite ispezione del fronte quadro.

La potenza dissipata da queste può essere determinata tramite la relazione:

$$P(I_b) = P(I_n)\left(\frac{I_b}{I_n}\right)^2 \cdot L_{tratto} \cdot 3$$

Dove:
- $P(I_n)$ è la potenza dissipata per unità di lunghezza alla corrente nominale ed il suo valore è ricavabile dalla tabella B.2 della Norma CEI 17-43, sotto riportata, oppure dai cataloghi del costruttore.
- $(L_{tratto} \cdot 3)$ è la lunghezza del tratto di barra che attraversa la colonna in esame, moltiplicata per 3 volte essendo il circuito trifase.

Nei calcoli presenti in questo documento si è utilizzata la tabella B.2 della Norma CEI 17-43 (vedi tabella 7.6), considerando una temperatura dell'aria intorno alla barra pari a 55°C.

Corrente di funzionamento e potenze dissipate delle sbarre nude, con disposizione verticale, senza connessioni dirette con l'apparecchio

Tabella 7.6

Lunghezza x spessore	Sezione (Cu)	Temperatura massima ammessa dal conduttore: 85 °C															
		Temperatura dell'aria intorno ai conduttori all'interno dell'involucro 35 °C								Temperatura dell'aria intorno ai conduttori all'interno dell'involucro 55 °C							
		da 50 Hz a 60 Hz AC				DC e AC fino a 16 2/3 Hz				da 50 Hz a 60 Hz AC				DC e AC fino a 16 2/3 Hz			
		corrente di funzionamento	potenze dissipate (1)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (1)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (1)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (1)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (1)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (1)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (1)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (1)
mm x mm	mm ^{2}	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m
12 x 2	23,5	144	19,5	242	27,5	144	19,5	242	27,5	105	10,4	177	14,7	105	10,4	177	14,7
15 x 2	29,5	170	21,7	282	29,9	170	21,7	282	29,9	124	11,6	206	16,0	124	11,6	206	16,0
15 x 3	44,5	215	23,1	375	35,2	215	23,1	375	35,2	157	12,3	274	18,8	157	12,3	274	18,8
20 x 2	39,5	215	26,1	351	34,8	215	26,1	354	35,4	157	13,9	256	18,5	157	12,3	258	18,8
20 x 3	59,5	271	27,6	463	40,2	271	27,6	463	40,2	198	14,7	338	21,4	198	14,7	338	21,4
20 x 5	99,1	364	29,9	665	49,8	364	29,9	668	50,3	266	16,0	485	26,5	266	16,0	487	26,7
20 x 10	199	568	36,9	1097	69,2	569	36,7	1107	69,6	414	19,6	800	36,8	415	19,5	807	37,0
25 x 5	124	435	34,1	779	55,4	435	34,1	78	55,6	317	18,1	568	29,5	317	18,1	572	29,5
30 x 5	149	504	38,4	894	60,6	505	38,2	899	60,7	368	20,5	652	32,3	369	20,4	656	32,3
30 x 10	299	762	44,4	1410	77,9	770	44,8	1436	77,8	556	27,7	1028	41,4	562	23,9	1048	41,5
40 x 5	199	641	47,0	1112	72,5	644	47,0	1128	72,3	468	25,0	811	38,5	469	24,9	586	38,5
40 x 10	399	951	52,7	1716	88,9	968	52,6	1796	90,5	694	28,1	1251	47,3	706	28,0	1310	48,1
50 x 5	249	775	55,7	1322	82,9	782	55,4	1357	83,4	566	29,7	964	44,1	570	29,4	989	44,3
50 x 10	499	1133	60,9	2008	102,9	1164	61,4	2141	103,8	826	32,3	1465	54,8	849	32,7	1562	55,3
60 x 5	299	915	64,1	1530	94,2	926	64,7	1583	94,6	667	34,1	1116	50,1	675	34,4	1154	50,3
60 x 10	599	1310	68,5	2288	116,2	1357	69,5	2487	117,8	955	36,4	1668	62,0	989	36,9	1814	62,7
80 x 5	399	1170	80,7	1929	116,4	1200	80,8	2035	116,1	858	42,9	1407	61,9	875	42,9	1484	61,8
80 x 10	799	1649	85,0	2806	138,7	1742	85,1	3165	140,4	1203	45,3	2047	73,8	1271	45,3	1756	74,8
100 x 5	499	1436	100,1	2301	137,0	1476	98,7	2407	121,2	1048	53,3	1678	72,9	1077	52,5	1756	69,8
100 x 10	999	1982	101,7	3298	164,2	2128	102,6	3844	169,9	1445	54,0	2406	84,4	1552	54,6	2803	90,4
120 x 10	1200	2314	115,5	3804	187,3	2514	115,9	4509	189,9	1688	61,5	2774	99,6	1833	61,6	3288	101,0

* un conduttore per fase ** due conduttori per fase (1) lunghezza singola

Cavi in entrata e in uscita dal quadro
La potenza dissipata dai tratti di cavo che entrano nel quadro deve essere conteggiata separatamente.
La variabilità della lunghezza di questi tratti fa sì che, in alcuni casi la loro potenza sia trascurabile, in altri sia determinante per il corretto calcolo della potenza dissipata all'interno del quadro.

La potenza dissipata da questi può essere determinata tramite la relazione:

$$P\,(I_b) = P\,(I_n)\left(\frac{I_b}{I_n}\right)^2 \cdot L_{tratto} \cdot 3$$

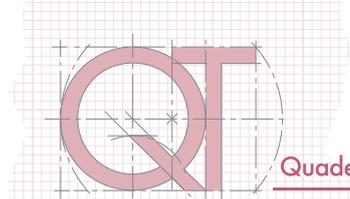
Dove:
- $P\,(I_n)$ è la potenza dissipata per unità di lunghezza alla corrente nominale ed il suo valore è ricavabile dalla tabella B.1 della Norma CEI 17-43 (vedi tabella 7.7) oppure dai cataloghi del costruttore.
- $(L_{tratto} \cdot 3)$ è la lunghezza del tratto di cavo all'interno del quadro o della colonna in esame moltiplicata per 3 essendo il circuito trifase; questa lunghezza può essere determinata approssimativamente per ispezione del fronte-quadro.

Nei calcoli presenti in questo documento si è utilizzata la tabella B.1 della Norma CEI 17-43 (vedi tabella 7.7), considerando una temperatura dell'aria intorno al cavo pari a 55°C.

Corrente di funzionamento e potenze dissipate dai conduttori isolati

Tabella 7.7

Sezione (Cu)	Temperatura massima ammessa del conduttore 70 °C											
	(1)				d d				d d			
	Temperatura dell'aria intorno ai conduttori all'interno dell'involucro											
	35 °C		55 °C		35 °C		55 °C		35 °C		55 °C	
	corrente di funzionamento	potenze dissipate (2)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (2)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (2)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (2)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (2)	corrente di funzionamento	potenze dissipate (2)
mm²	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m
1,5	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9
2,5	17	2,5	11	1,1	20	3,5	12	1,3	20	3,5	12	1,3
4	22	2,6	14	1,1	25	3,4	18	1,8	25	3,4	20	2,2
6	28	2,8	18	1,2	32	3,7	23	1,9	32	3,7	25	2,3
10	38	3,0	25	1,3	48	4,8	31	2,0	50	5,2	32	2,1
16	52	3,7	34	1,6	64	5,6	42	2,4	65	5,8	50	3,4
25					85	6,3	55	2,6	85	6,3	65	3,7
35					104	7,5	67	3,1	115	7,9	85	5,0
50					130	7,9	85	3,4	150	10,5	115	6,2
70					161	8,4	105	3,6	175	9,9	149	7,2
95					192	8,7	125	3,7	225	11,9	175	7,2
120					226	9,6	147	4,1	250	11,7	210	8,3
150					275	11,7	167	4,3	275	11,7	239	8,8
185					295	10,9	191	4,6	350	15,4	273	9,4
240					347	12,0	225	5,0	400	15,9	322	10,3
300					400	13,2	260	5,6	460	17,5	371	11,4

(1) Ogni disposizione desiderata, con i valori specifici, si riferisce a un gruppo di conduttori raggruppati in fascio (sei conduttori caricati al 100%).
(2) Lunghezza singola

Calcolo della sovratemperatura
Il valore della sovratemperatura all'interno del quadro può essere calcolato tramite gli strumenti software ABB SACE come il DOC.

I parametri richiesti dal software sono i seguenti:
- dimensioni lineari del quadro (altezza, lunghezza, larghezza);
- modalità di installazione (esposto separato, separato a muro, ...);
- superficie d'ingresso dell'aria;
  (la Norma CEI 17-43 prescrive una superficie di uscita dell'aria almeno pari a 1,1 volte quella di entrata, se non risulta così allora la superficie di ingresso deve essere ridotta del 10 % rispetto a quella effettiva)
- temperatura ambiente;
- numero di segregazioni orizzontali;
- potenza dissipata totale.

Con il medesimo metodo o strumento, infine, si calcola la temperatura dell'aria a metà altezza e in cima al quadro da realizzare.

A questo punto, desunta la mappa termica interna al quadro, dal basso verso alto, se risulta che per ciascun apparecchio installato, la corrispondente temperatura nel punto di fissaggio si mantiene uguale o inferiore a quella ammissibile, dichiarata dal costruttore, l'intero quadro si considera verificato positivamente.
Anche per tale specifica, si impone la riduzione dei carichi entro l'80% della corrente nominale dei dispositivi di protezione.

Nota Bene
Dalla conformità di un quadro alla CEI 17-43 si possono derivare altri allestimenti con analisi e deduzioni fisiche di tipo conservativo. Tali allestimenti sono accettabili se:
- utilizzano carpenteria con dimensioni lineari maggiori;
- sono posizionati in un ambiente climatizzato con temperatura ambiente ≤ 35 °C medi;
- utilizzano una modalità di installazione con una maggiore ventilazione del quadro;
- utilizzano un dispositivo per la ventilazione forzata del quadro.

Se richiesto, questi parametri possono essere reinseriti nel calcolo della sovratemperatura al fine di determinare la precisa mappa termica del quadro.

Non si può invece tenere conto del diverso grado di protezione, né tanto meno della diversa forma di segregazione per ottenere sovratemperature inferiori.

7.4 Esempi di calcolo della sovratemperatura

Nelle seguenti pagine sono riportati quattro esempi di calcolo della sovratemperatura con il metodo descritto nella CEI 17-43.

Ogni esempio contiene:
- schema unifilare;
- schematizzazione del fronte quadro con il giro barre;
- dettaglio delle barre passanti (lunghezza, sezione, corrente, potenza dissipata);
- dettaglio degli interruttori (modello, taglia, corrente, potenza dissipata, terminali, esecuzione);
- dettaglio dei cavi (lunghezza, sezione, corrente, potenza dissipata);
- temperature dell'aria calcolate con il software di ABB DOC.

Esempio N° 1

Schema unifilare

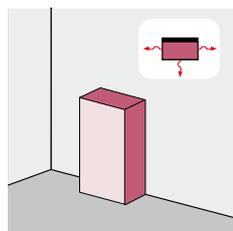
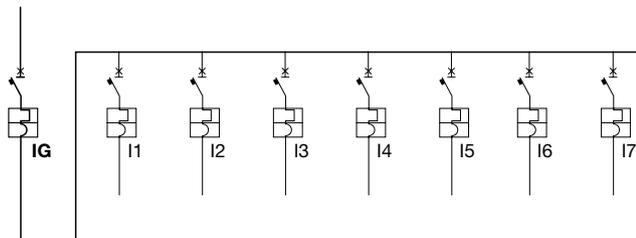
Figura 7.5

Fronte quadro

Figura 7.6

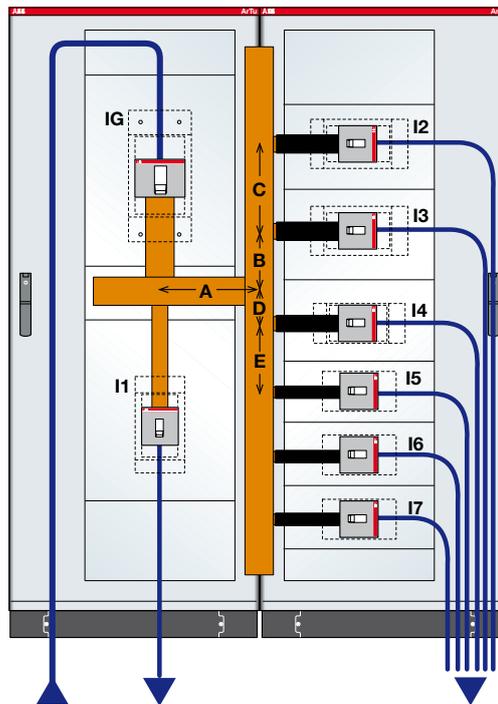



Tabella 7.8

Interruttore	Tipo	Terminali	In [A]	Ib [A]	P(In) [W]	P(Ib) [W]
IG	T7H1600 (F)	Posteriori	1600	1200	231	168,92
I1	T5H400 (F)	Posteriori	400	320	58,5	56,16
I2	T5H400 (F)	Posteriori	400	300	58,5	49,36
I3	T5H400 (F)	Posteriori	400	300	58,5	49,36
I4	T4H250 (F)	Posteriori	250	200	41,1	39,46
I5	T2H160 (F)	Posteriori	125	60	36	12,44
I6	T2H160 (F)	Posteriori	125	0	36	0
I7	T2H160 (F)	Posteriori	125	0	36	0
Totale potenza dissipata dagli interruttori						**375,7**

Esecuzioni: F = fisso

Tabella 7.9

Barra	Sezione [mm]x[mm]	Lunghezza [mm]	Corrente Ib [A]	P(Ib) [W]
A	100x10	300	880	18
B	100x10	200	600	5,6
C	100x10	300	300	2,1
D	100x10	100	280	0,6
E	100x10	250	60	0,1
Totale potenza dissipata dalle barre				**26**

Tabella 7.10

Cavo	Sezione [mm²]	Lunghezza [mm]	Corrente Ib[A]	P(Ib) [W]
IG	5x240	2400	1200	205,3
I1	240	500	320	15,2
I2	240	2100	300	56
I3	240	1800	300	48
I4	120	1500	220	41,3
I5	50	1100	60	5,5
Totale potenza dissipata dai cavi				**371,3**

Tabella 7.11

Potenze dissipate				Dimensioni [mm]			0 segregazioni orizzontali	Temperature ottenute °C (Temperatura ambiente = 25 °C)	
Barre	Apparecchi	Cavi	Totale	A [mm]	L [mm]	P [mm]		Altezza [m]	DOC
26	375,7	371,3	773	2000	1600	700	Esposto separato	2	49
								1	42

Tabella 7.12

Esempio N°1	
Struttura	**ArTu K**
Segregazione	**Non segregato**
Grado di protezione	**IP65**
Montaggio	**Separato a muro**

Esempio N° 2

Schema unifilare

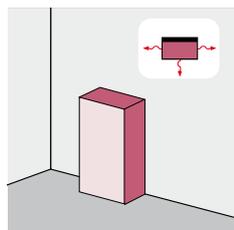
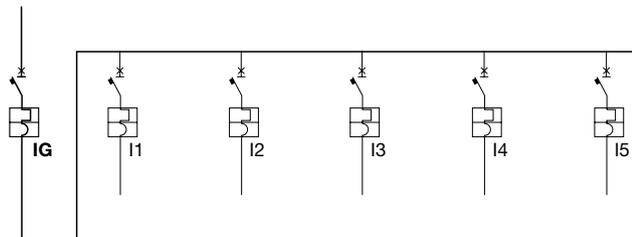
Figura 7.7

Fronte quadro

Figura 7.8

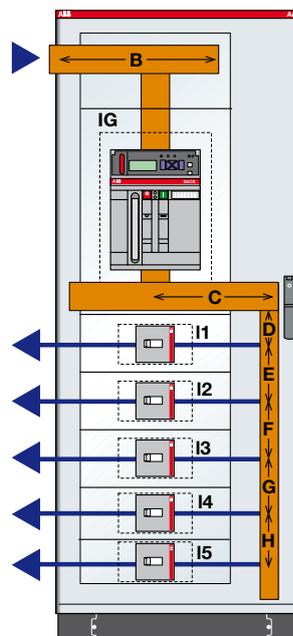



Tabella 7.13

Interruttore	Tipo	Terminali	In [A]	Ib [A]	P(In) [W]	P(Ib) [W]
IG	E2N1600 (W)	Orizzontali	1600	1214	215	160,9
I1	T2S160 (F)	Posteriori	160	50	51	7,47
I2	T2S160 (F)	Posteriori	160	50	51	7,47
I3	T2S160 (F)	Posteriori	160	50	51	7,47
I4	T2S160 (F)	Posteriori	160	50	51	7,47
I5	T2S160 (F)	Posteriori	160	50	51	7,47
Totale potenza dissipata dagli interruttori						**198,3**

Esecuzioni: F = fisso - W = estraibile

Tabella 7.14

Barra	Sezione [mm] x [mm]	Lunghezza [mm]	Corrente Ib [A]	P (Ib) [W]
B	3x(60x10)	360	1214	21,2
C	3x(60x10)	480	1214	28,2
D	80x10	100	1214	13,8
E	80x10	200	1164	25,5
F	80x10	200	150	trascurabile
G	80x10	200	100	trascurabile
H	80x10	200	50	trascurabile
Totale potenza dissipata dalle barre				89

Tabella 7.15

Potenze dissipate				Dimensioni [mm]			3 segregazioni orizzontali	Temperature ottenute °C (Temperatura ambiente = 25 °C)	
Barre	Apparecchi	Cavi	Totale	A [mm]	L [mm]	P [mm]		Altezza [m]	DOC
89	198,3	0	287,3	2000	800	900	Separato a muro	2	46,7
								1	41,2

Tabella 7.16

Esempio N°2	
Struttura	**ArTu K**
Segregazione	**Forma 3a**
Grado di protezione	**IP65**
Montaggio	**Separato a muro**

Esempio N° 3

Schema unifilare

Figura 7.9

Fronte quadro

Figura 7.10

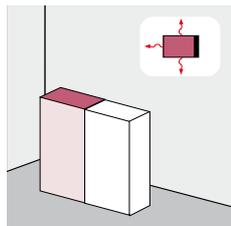
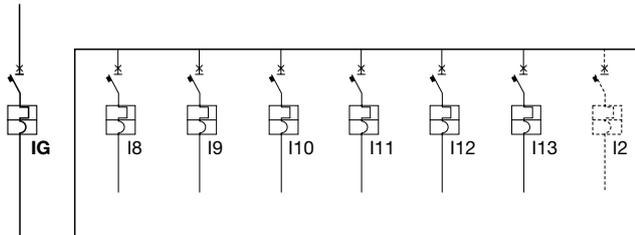



Tabella 7.17

Interruttore	Tipo	Terminali	In [A]	Ib [A]	P(In) [W]	P(Ib) [W]
IG	T7H1600 (F)	Posteriori	1600	1360	231	217
I8	T5H400 (F)	Posteriori	400	320	58,5	56,2
I9	T5H400 (F)	Posteriori	400	320	58,5	56,2
I10	T4H250 (F)	Posteriori	250	200	41,1	39,46
I11	T2H160 (F)	Posteriori	160	125	51	46,7
I12	T2H160 (F)	Posteriori	160	125	51	46,7
I13	T2H160 (F)	Posteriori	160	125	51	46,7
Totale potenza dissipata dagli interruttori						**509**

Esecuzioni: F = fisso

Tabella 7.18

Barra	Sezione [mm²]	Lunghezza [mm]	Corrente Ib [A]	P (Ib) [W]
A	2x80x10	360	1360	35,2
B	2x80x10	400	360	2,7
C	2x80x10	400	720	11
D	2x80x10	50	940	2,3
E	2x80x10	150	420	1,4
F	2x80x10	200	280	0,8
G	2x80x10	200	140	trascurabile
Totale potenza dissipata dalle barre				**54**

Tabella 7.19

Cavo	Sezione [mm²]	Lunghezza [mm]	Corrente Ib [A]	P (Ib) [W]
IG	5x240	400	1360	44
I8	240	1800	360	69,3
I9	240	1400	360	54
I10	120	1000	220	28
I11	70	800	140	17
I12	70	600	140	12,7
I13	70	400	140	8,5
Totale potenza dissipata dai cavi				**234**

Tabella 7.20

Potenze dissipate				Dimensioni [mm]			3 segregazioni orizzontali	Temperature ottenute °C (Temperatura ambiente = 25 °C)	
Barre	Apparecchi	Cavi	Totale	A [mm]	L [mm]	P [mm]		Altezza [m]	DOC
54	509	234	797	2000	1400	800	Coperto su un lato	2	64
								1	55

Tabella 7.21

Esempio N°3	
Struttura	**ArTu K**
Segregazione	**Forma 4**
Grado di protezione	**IP65**
Montaggio	**Esposto coperto su un lato**

Esempio N° 4

Schema unifilare

Figura 7.11

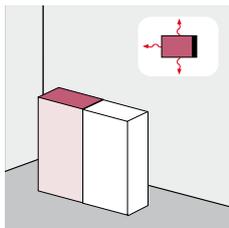
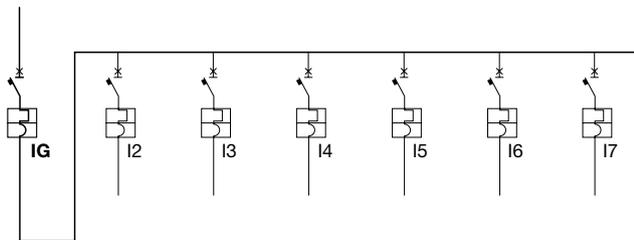
IG I2 I3 I4 I5 I6 I7

Fronte quadro

Figura 7.12

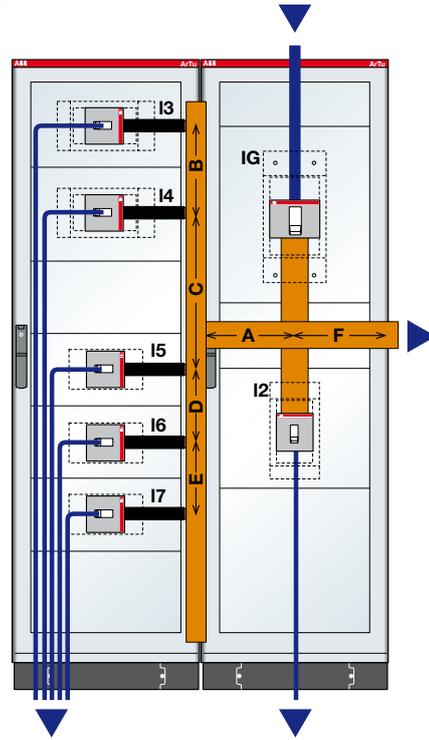



Tabella 7.22

Interruttore	Tipo	Terminali	In [A]	Ib [A]	P(In) [W]	P(Ib) [W]
IG	T7S1600 (F)	Posteriori	1600	1140	231	152,45
I2	T5N400 (F)	Posteriori	400	320	58,5	56,2
I3	T4N250 (F)	Posteriori	250	200	41,1	39,46
I4	T4N250 (F)	Posteriori	250	200	41,1	39,46
I5	T2N160 (F)	Posteriori	160	125	51	46,7
I6	T2N160 (F)	Posteriori	160	125	51	46,7
I7	T1N160 (F)	Posteriori	125	100	45	43,2
Totale potenza dissipata dagli interruttori						**424**

Esecuzioni: F = fisso

Tabella 7.23

Barra	Sezione [mm2]	Lunghezza [mm]	Corrente Ib [A]	P (Ib) [W]
A	2x80x10	360	780	11,6
B	40x10	400	210	3,1
C	40x10	400	420	12,4
D	40x10	50	360	1,1
E	40x10	150	230	1,4
F	40x10	200	100	0,3
Totale potenza dissipata dalle barre				30

Tabella 7.24

Cavo	Sezione [mm²]	Lunghezza [mm]	Corrente Ib [A]	P (Ib) [W]
IG	5x240	400	1140	31
I2	240	400	360	15,5
I3	120	1800	210	46,2
I4	120	1500	210	38,5
I5	70	1100	130	20
I6	70	900	130	16,4
I7	70	700	100	10
Totale potenza dissipata dai cavi				**177,6**

Tabella 7.25

Potenze dissipate				Dimensioni [mm]			3 segregazioni orizzontali	Temperature ottenute °C (Temperatura ambiente = 25 °C)	
Barre	Apparecchi	Cavi	Totale	A [mm]	L [mm]	P [mm]		Altezza [m]	DOC
30	424	177,6	631,6	2000	1400	800	Coperto su un lato	2	57
								1	50

Tabella 7.26

Esempio N°4	
Struttura	**ArTu K**
Segregazione	**Forma 4**
Grado di protezione	**IP65**
Montaggio	**Esposto coperto su un lato**

8 Verifica delle prestazioni in cortocircuito

Il quadro elettrico deve essere costruito in modo da resistere alle sollecitazioni termiche e dinamiche derivanti dalla corrente di cortocircuito fino ai valori assegnati. Inoltre il quadro può essere protetto contro le correnti di cortocircuito mediante interruttori automatici o fusibili che possono essere installati nel quadro o a monte di esso.

L'utilizzatore deve specificare, al momento dell'ordine, le condizioni di cortocircuito nel punto di installazione.

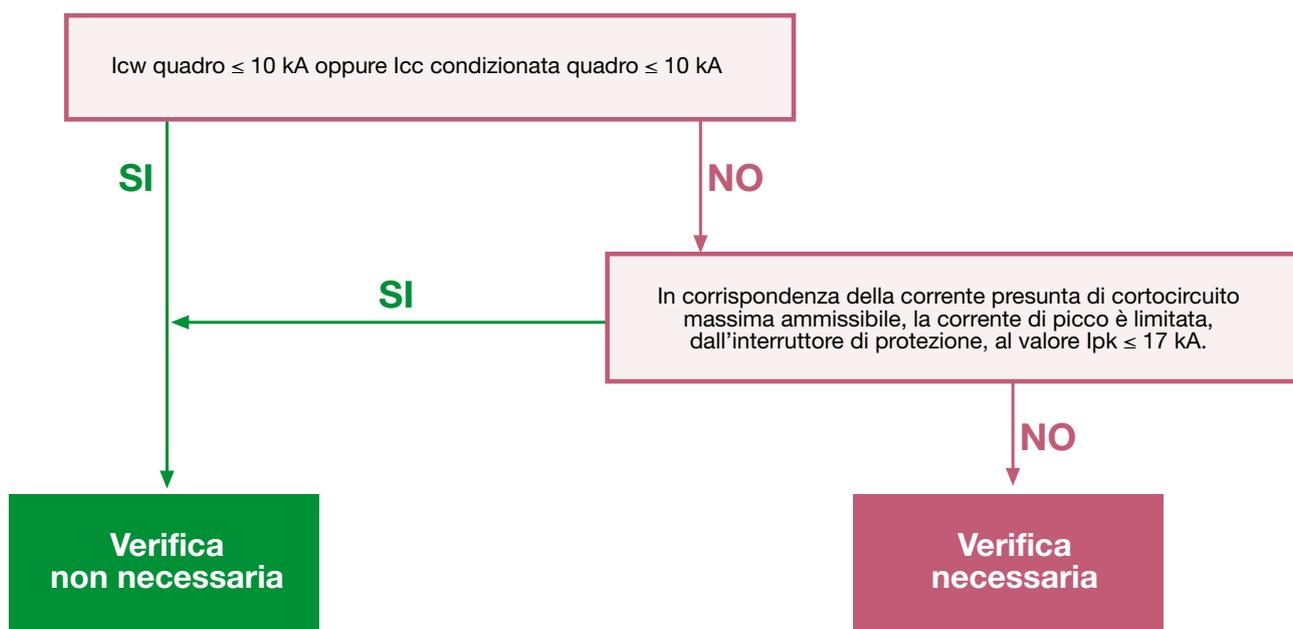
Questo capitolo considera i seguenti aspetti:
- la necessità o meno di effettuare la verifica della tenuta al cortocircuito del quadro;
- l'idoneità di un quadro ad un impianto in funzione della corrente di cortocircuito presunta dell'impianto e dei parametri di cortocircuito del quadro;
- l'idoneità di un sistema di sbarre in funzione della corrente di cortocircuito e dei dispositivi di protezione;
- la verifica della tenuta al cortocircuito del quadro tramite le regole di progetto definite nella CEI EN 61439-1.

8.1 Verifica della tenuta al cortocircuito

La verifica della tenuta al cortocircuito è trattata dalle recenti norme CEI EN 61439-1 e 2; in particolare sono specificati i casi in cui la verifica deve essere effettuata e le diverse tipologie di verifica.
Non è necessaria la verifica al cortocircuito nei seguenti casi:

- per un quadro che ha corrente nominale di breve durata o corrente nominale di cortocircuito condizionata non superiori a 10 kA;
- per i quadri protetti da dispositivi limitatori di corrente aventi una corrente di picco limitata non superiore a 17 kA, in corrispondenza della corrente presunta di cortocircuito massima ammissibile, ai terminali del circuito di entrata del quadro;
- per i circuiti ausiliari del quadro previsti per essere collegati a trasformatori la cui potenza nominale non superi i 10 kVA con una tensione nominale secondaria che non sia inferiore a 110 V, oppure non superi 1,6 kVA con una tensione nominale secondaria inferiore a 110 V, e la cui tensione di cortocircuito in entrambi i casi non sia inferiore al 4%;
- per tutte le parti del quadro (barre principali, supporti delle barre principali, connessioni alle barre, unità di entrata e di uscita, apparecchi di protezione e manovra, ecc.) che sono già state soggette a prove di verifica valevoli per le condizioni esistenti.

La necessità di verifica della tenuta al cortocircuito può quindi essere riassunta nel seguente modo:

Figura 8.1

Per quanto riguarda i dettagli riguardanti l'esecuzione della prova di cortocircuito consigliamo di riferirsi direttamente alla norma CEI EN 61439-1.

Nella tabella seguente sono riportati, per i diversi interruttori di protezione e per le più comuni tensioni d'impianto, i valori che approssimativamente rappresentano la massima corrente di cortocircuito presunta in [kA] tale per cui il picco limitato non supera i 17 kA, così da non dover effettuare la prova di verifica della tenuta al cortocircuito del quadro.

Tabella 8.1

Interruttore		Tensione nominale d'impianto			
Tipologia	Corrente nominale In [A]	230Vac	415Vac	500Vac	690Vac
S200	≤63	20	10	-	-
S200M	≤63	25	15	-	-
S200P	≤25	40	25	-	-
S200P	32-63	25	15	-	-
S800	≤125	50	50	15(In≤80A) 10(In≤80A)	6(In≤80A) 4.5(In≤80A)
S290	≤125	25	15	-	-
T1	<160	50	35	15	6
T1	160	37	33	15	6
T2	≤32	120	85	50	10
T2	≤50	120	85	39	10
T2	≤63	120	65	30	10
T2	80 -160	120	50	29	10
T3	63	37	20	18	8
T3	80	27	18	17	8
T3	100	21	16	15	8
T3	125-160	18	15	14	8
T3	200-250	16	14	13	8
T4	20	200	200	150	80
T4	32-50	200	200	150	55
T4	80	200	100	48	32
T4	100-320	200	24	21	19
T5 T6 T7	320-1600	10	10	10	10

Il valore di corrente di cortocircuito riportato in tabella dovrà essere confrontato con il potere d'interruzione dell'interruttore per le diverse versioni disponibili.

8.2 Corrente di cortocircuito e idoneità del quadro all'impianto

La verifica della tenuta alla corrente di cortocircuito si basa principalmente su due parametri del quadro che sono:
- la corrente nominale ammissibile di breve durata I_{cw};
- la corrente nominale di cortocircuito condizionata I_{cc}.

In base ad uno di questi due valori è possibile stabilire se il quadro è idoneo o meno ad essere installato in un determinato punto dell'impianto.

Deve essere verificato che i poteri d'interruzione degli apparecchi (eventualmente tramite back-up) all'interno del quadro siano compatibili con i valori di cortocircuito dell'impianto.

La corrente nominale ammissibile di breve durata I_{cw} è il valore efficace della corrente relativa alla prova di cortocircuito per 1 s senza apertura delle protezioni, dichiarato dal costruttore del quadro, che il quadro stesso può sopportare senza danneggiarsi nelle condizioni fissate, definite in funzione della corrente e del tempo. Ad un quadro possono essere assegnati valori diversi di I_{cw} per durate diverse (es. 0,2 s; 3 s).

Dalla prova (se superata) che consente di definire il valore di I_{cw} è possibile ricavare l'energia specifica passante (I^2t) che può essere sopportata dal quadro (questa relazione vale nell'ipotesi di adiabaticità del fenomeno, che non può superare perciò i 3 secondi):

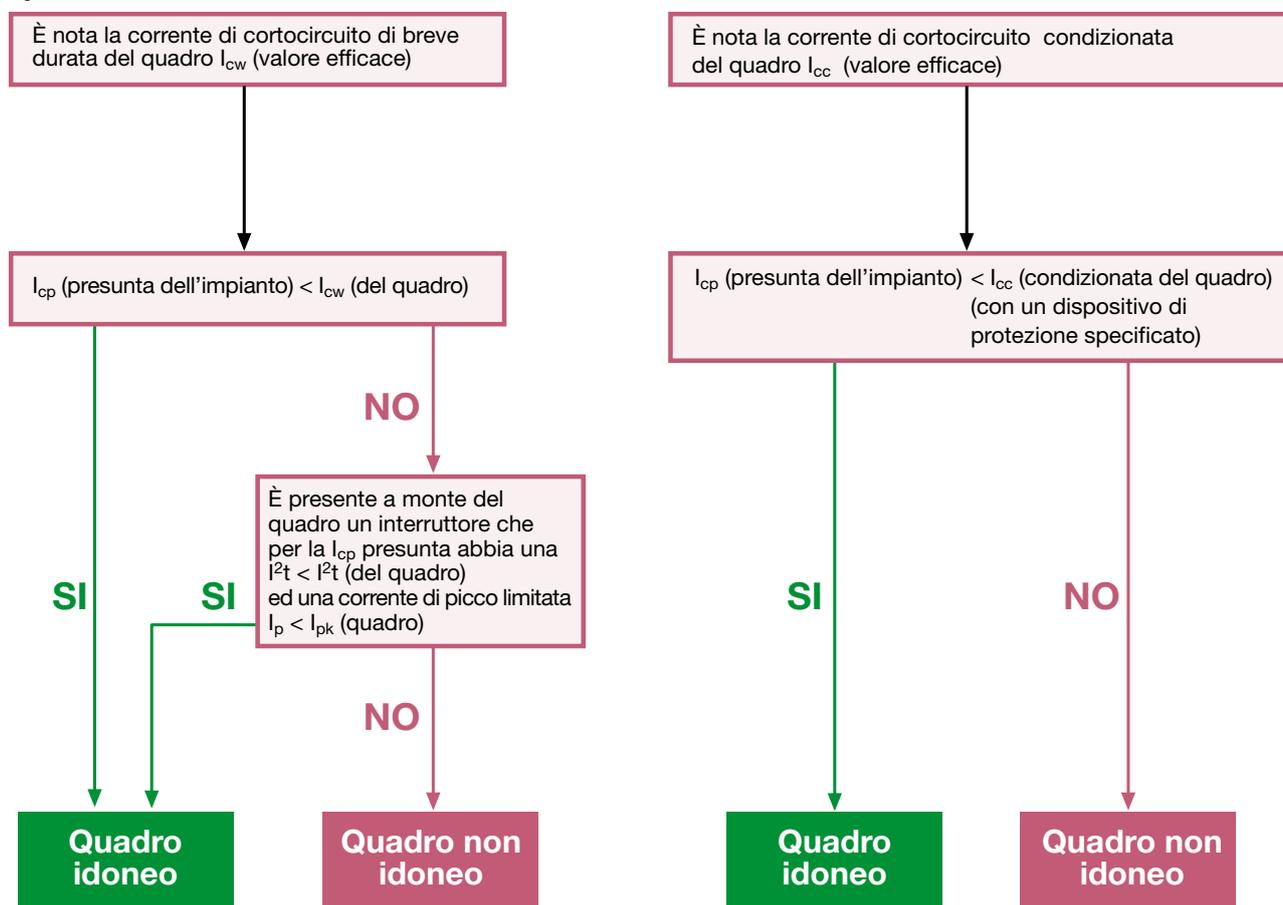
$$I^2t = I_{cw}^2 \cdot t \text{ (genericamente } t = 1\text{s).}$$

La norma definisce anche la corrente nominale ammissibile di picco Ipk come il valore di picco della corrente di cortocircuito, dichiarato dal costruttore del quadro, che il quadro stesso può sopportare nelle condizioni definite.
Il valore di picco della corrente di cortocircuito, che serve per definire gli sforzi elettrodinamici, si può ottenere moltiplicando la corrente di breve durata per il fattore "n" secondo la Tabella 7 della CEI EN 61439-1.
I valori normalizzati del fattore "n" sono riportati in Tabella 8.2.

$$I_{pk} = I_{cw} \cdot n$$

Tabella 8.2

Valore efficace della corrente di cortocircuito	cosφ	n
I ≤ 5	0.7	1.5
5 < I ≤ 10	0.5	1.7
10 < I ≤ 20	0.3	2
20 < I ≤ 50	0.25	2.1
50 < I	0.2	2.2

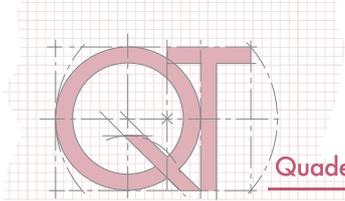
I valori della presente tabella tengono conto della maggioranza delle applicazioni. In zone particolari, per es. in vicinanza di trasformatori o generatori, il fattore di potenza può assumere valori più bassi per cui in questi casi il valore massimo del picco della corrente presunta può diventare il fattore limitativo, invece del valore efficace della corrente di cortocircuito.

La corrente nominale di cortocircuito condizionata I_{cc} è il valore della corrente presunta di cortocircuito dichiarata dal costruttore del quadro che il quadro stesso può sopportare, durante il tempo totale di funzionamento (tempo di apertura) del dispositivo di protezione contro il cortocircuito, nelle condizioni specificate.

La I_{cc} dovrà essere pari o maggiore del valore efficace (r.m.s) della corrente presunta di cortocircuito (I_{cp}) per una durata limitata dall'intervento del dispositivo di protezione dal cortocircuito che protegge il quadro.

Tramite i valori di I_{cw} o I_{cc} ed il valore della corrente di cortocircuito presunta dell'impianto è possibile stabilire se il quadro è idoneo o meno ad essere installato nell'impianto.

I diagrammi seguenti illustrano il metodo per determinare la compatibilità del quadro con l'impianto[1].

[1] *Deve essere verificato che i poteri d'interruzione degli apparecchi all'interno del quadro siano compatibili con i valori di cortocircuito dell'impianto.*

Figura 8.2

Esempio

Dati impianto esistente:

V_n= 400 V
f_n = 50 Hz
I_{cp}= 35 kA

Supponiamo di avere in un impianto esistente un quadro elettrico con una I_{cw} pari a 35 kA e che, nel punto di installazione del quadro, la corrente di cortocircuito presunta sia pari a 35 kA.

Ipotizziamo ora che si decida un ampliamento di potenza dell'impianto e che il valore di cortocircuito aumenti a 60 kA.

Dati impianto dopo ampliamento:

V_n= 400 V
f_n = 50 Hz
I_{cp}= 60 kA

Essendo la I_{cw} del quadro minore della corrente di cortocircuito dell'impianto, per verificare che il quadro esistente sia ancora compatibile, si deve:

- determinare i valori di I^2t e di Ip lasciati passare dall'interruttore posto a monte del quadro;
- verificare che i dispositivi di protezione posti all'interno del quadro abbiano l'adeguato potere di interruzione, singolarmente o per back-up.

I_{cw} = 35 kA da cui:

- $I^2t_{quadro} = 35^2 x1 = 1225\ MA^2s$;
- $I_{pk\ quadro}$ = 35 x 2,1 = 73.5 kA (vedi Tabella 8.2).

Supponiamo che, a monte del quadro, venga installato un nuovo interruttore scatolato Tmax T5H (Icu=70 kA a 415V):

- $I^2t_{interruttore} < 4\ MA^2s$;
- $I_{p\ interruttore} < 40$ kA.

Essendo:

- $I^2t_{quadro} > I^2t_{interruttore}$
- $I_{pk\ quadro} > I_{p\ interruttore}$

Il quadro (struttura e sistema di barre) risulta idoneo.
Per quanto riguarda gli interruttori posti all'interno del quadro, supponiamo che questi siano interruttori scatolati Tmax T1,T2,T3 versione N con Icu=36 kA a 415V.

Dalle tabelle di Back-up si osserva che gli interruttori presenti nel quadro risultano idonei all'impianto in quanto il loro potere di interruzione viene elevato a 65 kA dall'interruttore T5H posto a monte.

8.3 Scelta del sistema di distribuzione in relazione alla tenuta al cortocircuito

Il dimensionamento del sistema di distribuzione del quadro è realizzato considerando la corrente nominale che lo attraversa e la corrente di cortocircuito presunta dell'impianto.

Normalmente esistono tabelle fornite dal costruttore che permettono la scelta della sezione della barra, in funzione della corrente nominale, e che forniscono le distanze alle quali devono essere posti i supporti reggibarre per garantire la tenuta al cortocircuito.

Nel catalogo tecnico ABB Sace “Catalogo Generale quadri per distribuzione” sono riportati i sistemi di distribuzione utilizzabili all'interno dei quadri ArTu, che sono:

barre a profilo sagomato fino a:
- 3200 A (IP65);
- 3600 A (IP31)

barre piatte forate fino a:
- 4000 A (IP65);
- 4460 A (IP31)

barre flessibili fino a:
- 1250 A (IP65);
- 1515 A (IP31)

sistema di cablaggio Unifix fino a 400 A;
ripartitori fino a 400 A

Per scegliere il sistema di distribuzione compatibile con i dati di cortocircuito dell'impianto si deve seguire la seguente procedura:

- **Se è noto il dispositivo di protezione posto a monte del sistema di distribuzione in esame**

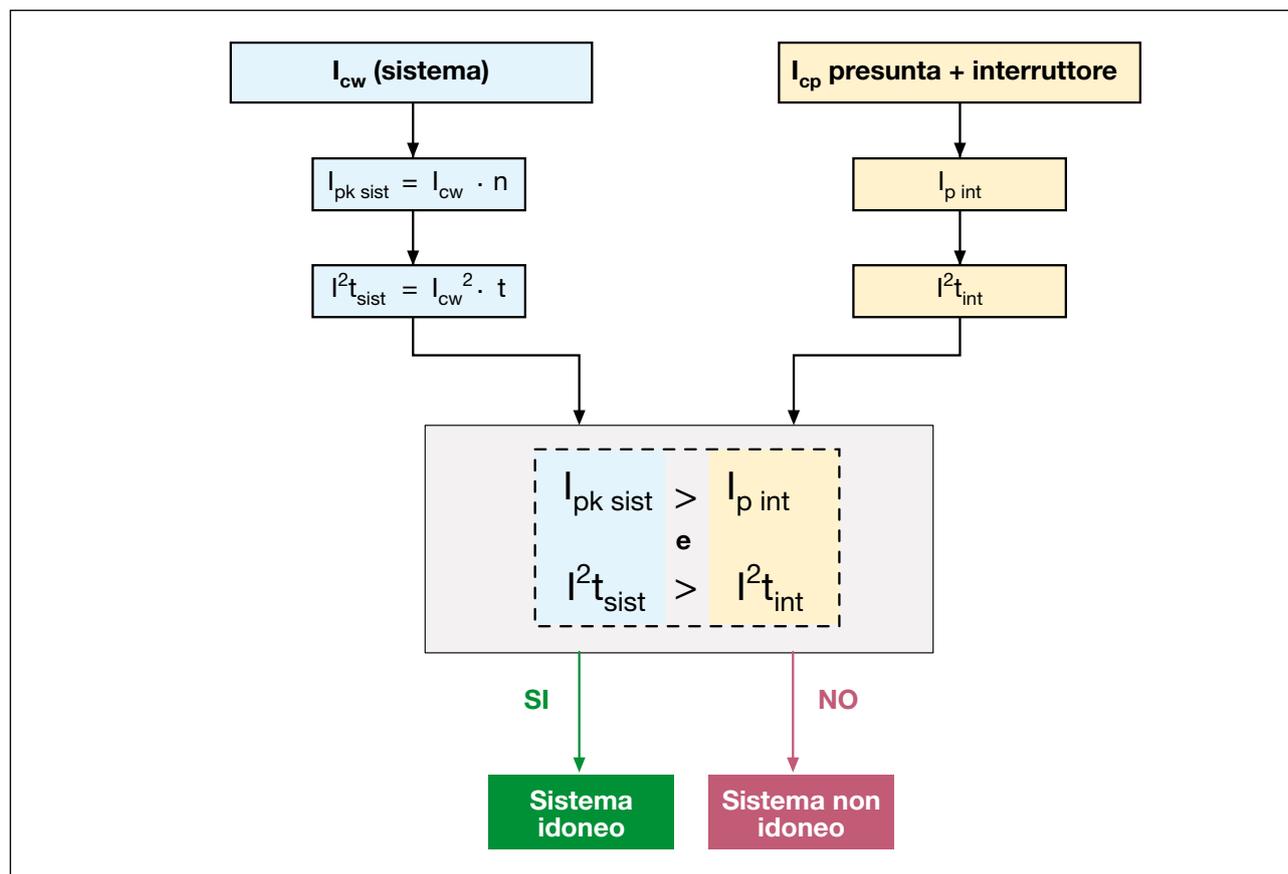
Dal valore della I_{cw} del sistema di distribuzione si ricava:

- $I_{pk\ sist} = I_{cw} \cdot n$
  (dove n è il fattore ricavato dalla Tabella 8.2)
- $I^2t_{\ sist} = I_{cw}^{\ 2} \cdot t$
  (dove t è pari ad 1 secondo)

In corrispondenza del valore della corrente di cortocircuito presunta dell'impianto si determina:

- il valore della corrente di picco limitata dall'interruttore $I_{p\ int}$;
- l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore $I^2t_{\ int}$

Se risulta che $I_{p\ int} < I_{pk\ sist}$ e che $I^2t_{\ int} < I^2t_{\ sist}$ allora il sistema di distribuzione è idoneo.

Figura 8.3

Esempio
Dati impianto:
V_n=400 V
f_n =50 Hz
I_{cp}=65 kA

Supponiamo di avere necessità di utilizzare un sistema di barre a profilo sagomato da 400 A.
Dal catalogo ABB SACE "Catalogo Generale quadri per distribuzione" una scelta possibile potrebbe essere: BA0400 In 400 A (IP65) con Icw = 35kA.

Supponiamo di avere, a monte del sistema di barre, un interruttore scatolato:
Tmax T5H400 In 400
Dalla I_{cw} del sistema di barre si ricava che:
- $I_{pk\ sist} = I_{cw} \cdot 2{,}1 = 73{,}5$ [kA]
- $I^2t_{sist} = I_{cw}^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225$ [(kA)²s]

Dalle curve di limitazione ed energia specifica del T5H400 In 400, ad una corrente di cortocircuito presunta I_{cp} di 65 kA corrisponde:
- $I_{p\ int} < 40$ kA
- $I^2t_{int} < 4$ [(kA)²s]

Essendo:
- $I_{p\ int} < I_{pk\ sist}$
- $I^2t_{int} < I^2t_{sist}$

il sistema di barre è compatibile con l'impianto.

- **Se non è noto il dispositivo di protezione posto a monte del sistema di distribuzione in esame si deve verificare che:**

I_{cp} (presunta) < I_{cw} (sistema di distribuzione)

Tratti di conduttore a monte del dispositivo
La norma CEI EN 61439-1 prevede che all'interno di un quadro, i conduttori (incluse le barre di distribuzione) posti tra le barre principali e il lato alimentazione delle singole unità funzionali, come pure i componenti costitutivi di queste unità, possono essere dimensionati in base alle sollecitazioni di cortocircuito ridotte che si producono a valle del dispositivo di protezione dell'unità.

Questo può essere possibile se i conduttori sono disposti in modo tale che, in condizioni normali di servizio, il cortocircuito interno tra le fasi e/o tra le fasi e la terra sia da considerarsi una possibilità remota; è preferibile che tali conduttori siano di costruzione massiccia e rigida.

La norma, nella Tabella 4 (vedi tabella 8.3), riporta a titolo esemplificativo i conduttori e le prescrizioni per l'installazione che permettono di considerare ipotesi remota il cortocircuito tra le fasi e/o tra le fasi e la terra.

Se ci si trova in queste condizioni il cortocircuito interno può essere considerato un'ipotesi remota, si può utilizzare la procedura descritta precedentemente per verificare l'idoneità del sistema di distribuzione alle condizioni di cortocircuito, dove queste sono determinate in funzione delle caratteristiche dell'interruttore posto a valle delle barre principali.

Tabella 8.3

Tipo di conduttore	Prescrizioni
Conduttori nudi, o conduttori ad un'anima singola con isolamento principale, per esempio cavi conformi alla IEC 60227-3	Si deve evitare il contatto reciproco o il contatto con parti conduttrici, per esempio attraverso l'uso di distanziatori
Conduttori ad un'anima singola con isolamento principale ed una temperatura massima ammessa per il funzionamento del conduttore superiore a 90°C, per esempio i cavi conformi alla IEC 60245-3, oppure i cavi termoplastici isolati (PVC) resistenti al calore conformi alla IEC 60227-3	Il contatto reciproco o con parti conduttrici è consentito là dove non è applicata una pressione esterna. Si deve evitare il contatto con spigoli vivi. Non deve esserci il rischio di danni meccanici. Questi conduttori possono essere unicamente caricati in modo tale che non sia superata una temperatura di funzionamento dell'80% della massima temperatura di funzionamento ammessa del conduttore
Conduttori con isolamento principale, per esempio cavi conformi alla IEC 60227-3, aventi un isolamento secondario supplementare, per esempio ricoperti singolarmente con una guaina restringente o posti individualmente in tubi in materiale plastico	Nessuna prescrizione addizionale
Conduttori isolati con materiale ad elevata resistenza meccanica, per esempio isolamento Etilene Tetrafluoro Etilene (ETFE), oppure conduttori con doppio isolamento con una guaina esterna rinforzata per l'uso fino a 3 kV, per esempio i cavi conformi alla IEC 60502	
Cavi rivestiti ad anima singola o a più anime, per esempio cavi conformi alle IEC 60245-4 o IEC 60227-4	

Esempio

Dati impianto:

V_n = 400 V
f_n = 50 Hz
I_{cp} = 45 kA

Consideriamo il quadro in figura, dove dalle barre principali sono derivate le barre di distribuzione verticali.
Queste sono barre a profilo sagomato da 800 A come riportato nel Catalogo generale quadri per distribuzione:
In 800, (IP65);
I_{cw} max 35 kA

Essendo un sistema rigido con distanziatori, per la norma CEI EN 61439 il cortocircuito tra le barre è un ipotesi remota.
Dobbiamo comunque verificare che le sollecitazioni ridotte dagli interruttori posti a valle del sistema siano compatibili con il quadro.

Supponiamo che nelle celle ci siano
Tmax T3S250
Tmax T2S160

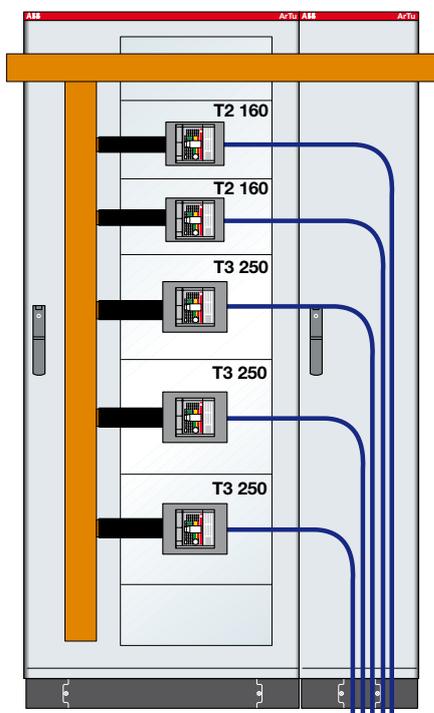
Figura 8.4

Si deve verificare che, in caso di cortocircuito su una qualunque uscita, le limitazioni prodotte dall'interruttore, siano compatibili con il sistema di barre.
Occorre quindi verificare che l'interruttore che limita di meno picco ed energia, limiti comunque sufficientemente per il sistema di barre.
Nel nostro caso si tratta del T3S250 In 250
Verifichiamo quindi in modo analogo al paragrafo precedente:

Dalla I_{cw} del sistema di barre si ricava che:
- $I_{pk\ sist} = I_{cw} \cdot n = 35 \cdot 2{,}1 = 73{,}5$ [kA]
- $I^2t_{\ sist} = I_{cw}^{\ 2} \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225$ [(kA)²s]

Dalle curve di limitazione e di energia specifica passante del T3S250 In 250, ad una corrente di cortocircuito presunta Icp di 45 kA corrisponde:
- $I_{p\ int} < 30$ kA
- $I^2t_{\ int} < 2$ [(kA)²s]

Essendo:
- $I_{p\ int} < I_{pk\ sist}$
- $I^2t_{\ int} < I^2t_{\ sist}$

il sistema di barre è compatibile con il quadro.

8.4 Verifica del cortocircuito con regole di progetto

Secondo la nuova CEI EN 61439-1 la conformità del quadro in cortocircuito può essere dimostrata oltre che con le verifiche di laboratorio (I_{cw}) anche applicando opportune regole di progetto, evidenziate nella tabella che riportiamo di seguito (Tabella 13 della CEI EN 61439-1).

Non è richiesta alcuna verifica di laboratorio se, confrontando il quadro da verificare con un progetto di riferimento (già testato) servendosi della suddetta tabella, si risponde "SI" alle prescrizioni riguardanti il confronto.

Come si evince dalla tabella, le derivazioni proposte sono in funzione delle prove realizzate su un progetto di riferimento, giacchè solo grazie a queste ultime si può ottenere una determinata corrente di breve durata (I_{cw}), che a sua volta permette di ricavare le altre due variabili ammissibili del sistema quadro che sono:

- corrente di picco (I_{pk});
- energia specifica sopportabile (I^2t).

Tabella 8.4

Riferimento N°	Prescrizioni da considerare	SI	NO
1	Il valore nominale di tenuta al cortocircuito di ogni circuito del quadro da verificare è minore o uguale a quello del progetto di riferimento?		
2	Le dimensioni delle sezioni delle sbarre e dei collegamenti di ogni circuito del quadro da verificare sono maggiori o uguali a quelle del progetto di riferimento?		
3	Le distanze tra le sbarre e i collegamenti di ogni circuito del quadro da verificare sono maggiori o uguali a quelle del progetto di riferimento?		
4	I supporti delle sbarre di ogni circuito del quadro da verificare sono dello stesso tipo, forma e materiale ed hanno la stessa o minore distanza relativa su tutta la lunghezza delle sbarre del progetto di riferimento?		
5	I materiali e le caratteristiche dei materiali dei conduttori di ogni circuito del quadro da verificare sono gli stessi del progetto di riferimento?		
6	I dispositivi di protezione contro il cortocircuito di ogni circuito del quadro da verificare sono equivalenti, cioè con lo stesso tipo di fabbricazione e stessa serie[a]), con uguali o migliori caratteristiche di limitazione (I^2t, I_{pk}) sulla base dei dati forniti dal costruttore del dispositivo, ed hanno la stessa disposizione del progetto di riferimento?		
7	La lunghezza dei conduttori attivi non protetti in accordo con 8.6.4 di ogni circuito non protetto del quadro da verificare è uguale o minore di quella del progetto di riferimento?		
8	Se il quadro da verificare comprende un involucro, il progetto di riferimento comprendeva un involucro quando era stato provato?		
9	L'involucro del quadro da verificare è dello stesso progetto e tipo ed ha almeno le stesse dimensioni di quelle del progetto di riferimento?		
10	Le celle di ogni circuito del quadro da verificare hanno lo stesso progetto meccanico ed almeno le stesse dimensioni di quelle del progetto di riferimento?		
"SI" a tutte le prescrizioni – non è richiesta alcuna verifica. "NO" ad almeno una prescrizione – è richiesta un'ulteriore verifica, si veda 10.11.4 e 10.11.5.			
[a]) I dispositivi di protezione contro il cortocircuito della stessa fabbricazione ma di serie differenti possono essere considerati equivalenti se le caratteristiche di prestazione del dispositivo, dichiarate dal costruttore, sono le stesse o migliori rispetto a quelle della serie usata per la prova, ad es. il potere di chiusura, le caratteristiche di limitazione (I2t, Ipk) e le distanze critiche.			

9 Verifica delle caratteristiche dielettriche del quadro

Fra le tre caratteristiche prestazionali principali (verifiche di progetto) che deve possedere un sistema di quadri, accanto alla tenuta termica e a quella di cortocircuito appena esaminate, troviamo la verifica delle proprietà dielettriche.

A questo riguardo la recente CEI EN 61439 ha introdotto una doppia conformità, riconfermando la precedente prestazione relativa alla tensione di tenuta a frequenza industriale U_i e aggiungendo la nuova caratteristica della tensione di tenuta a impulso U_{imp}.

Ricordiamo che la sequenza crescente, che interessa le diverse tensioni che caratterizzano un quadro, parte dalla U_e, la tensione d'impiego in funzione dell'effettivo valore agente in un certo impianto, continua con la U_n, la tensione nominale del sistema quadro considerato e dichiarato nel relativo catalogo, prosegue con la U_i, la tensione d'isolamento del sistema cui si riferiscono le prove dielettriche e termina con la U_{imp}, la tensione di tenuta all'impulso, che esprime il picco massimo impulsivo sopportabile dal sistema; questo valore di picco è assegnato, dal costruttore originale del sistema, grazie ad opportune verifiche di progetto.

9.1 Prova di tenuta dielettrica a frequenza industriale

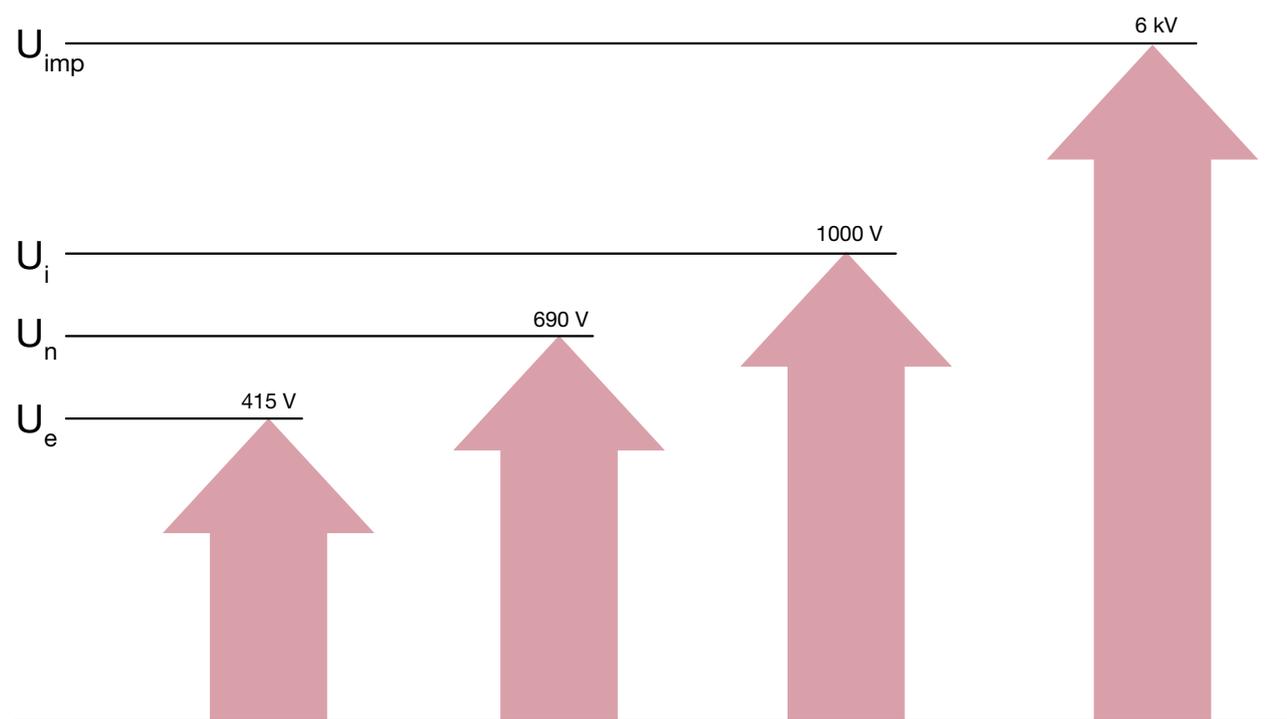
Le evoluzioni normative vanno verso una certa semplificazione tecnica.
Riguardo ai valori efficaci delle tensioni di prova da applicare in laboratorio (indicati nella Tabella 8 della IEC 61439-1 riportata sotto), si rileva che sono stati ridotti rispetto al passato, lasciando la facoltà di effettuare la verifica dei circuiti principali sia in corrente alternata che in corrente continua rispettando però il canonico rapporto di 1,41.

Tabella 9.1

Tensione nominale di isolamento U_i (tra le fasi in c.a. o in c.c.) V	Tensione di prova dielettrica in c.a. valore efficace V	Tensione di prova dielettrica [b] in c.c. V
Ui ≤ 60	1 000	1 415
60 < Ui ≤ 300	1 500	2 120
300 < Ui ≤ 690	1 890	2 670
690 < Ui ≤ 800	2 000	2 830
800 < Ui ≤ 1 000	2 200	3 110
1 000 < Ui ≤ 1 500 [a]	-	3 820

[a] Solo per c.c.

[b] Le tensioni di prova sono basate su 4.1.2.3.1, terzo capoverso, della IEC 60664-1.

Figura 9.1

Questa prova in corrente alternata e alla frequenza di 50 Hz, che consente di definire la tensione nominale d'isolamento U_i, è necessaria ed esclusiva, nel senso che non ammette verifiche alternative di calcolo o attraverso regole di progetto; è dunque imperativa per il costruttore originale.
Dopo aver sezionato a monte e a valle tutti i circuiti attivi, la prova si effettua in due fasi distinte, sui circuiti principali e su quelli ausiliari.
In particolare, per i primi, sono previste due distinte procedure che mettono in tensione:
- prima tutti i circuiti attivi, cortocircuitati tra loro, rispetto all'involucro messo a massa (1° test)
- poi ogni polo principale, rispetto agli altri poli cortocircuitati tra loro e con l'involucro e a terra (2° test).

La tensione di prova, generata da specifici macchinari da laboratorio, è applicata attraverso i classici puntali di sicurezza alle parti in misura. Il metodo descritto, che comporta l'applicazione di una rampa con valori crescenti fino al valore massimo che è poi mantenuto ogni volta per cinque secondi, evidenzia un ulteriore alleggerimento (riduzione) rispetto al passato dei tempi di applicazione della tensione di prova (prima si manteneva per un minuto).

Per quanto riguarda i circuiti ausiliari, normalmente con tensioni di lavoro più basse rispetto ai circuiti principali, la nuova CEI EN 61439 definisce la Tabella 9 (vedi tabella 9.2).

Tabella 9.2

Tensione nominale di isolamento U_i (tra le fasi) V	Tensione di prova dielettrica in c.a. valore efficace V
Ui ≤ 12	250
12 < Ui ≤ 60	500
60 < Ui	2 Ui + 1000 con un minimo di 1500

Affine alla prova di tensione in alternata appena descritta, c'è poi la verifica del rispetto delle minime distanze superficiali all'interno del quadro; questa prescrizione coinvolge tutti i componenti interni dotati di parti isolate sia tra le parti attive che verso massa.
Solitamente i punti critici che meritano più attenzione sono soprattutto i supporti reggi sbarra e gli attacchi isolati.

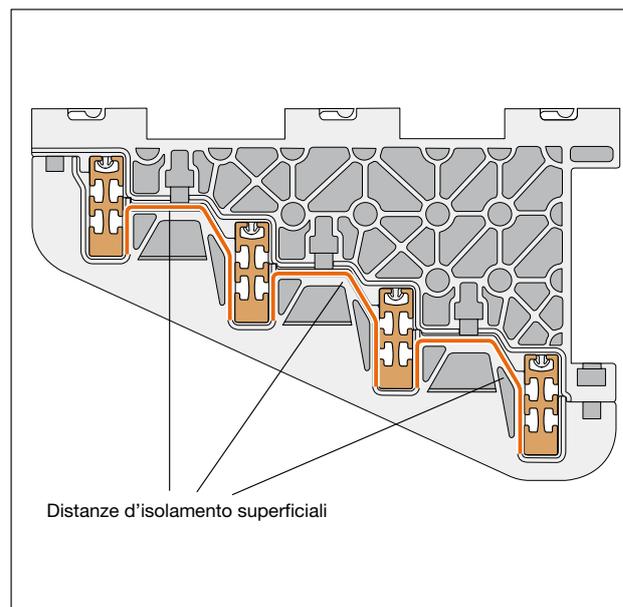
Figura 9.2

Come di consueto, in questa procedura si deve tener conto anche del tipo di sostanza isolante e del suo coefficiente di Tracking CTI, espresso in volt, che esprime la massima tensione di tenuta sopportabile senza formazione di scarica. Più pregiato è il prodotto (vetro, ceramica) più alto è tale coefficiente (600 e oltre) e più basso è il relativo gruppo del materiale.

Tabella 9.3

gruppo materiale	CTI (tracking)		
I		> 600	
II	600	> CTI	> 400
IIIa	400	> CTI	> 175
IIIb	175	> CTI	> 100

Quanto visto si riassume nella seguente tabella, che riporta le distanze superficiali minime in millimetri, per ciascun tipo di componente contenuto entro il quadro, in funzione della tensione d'isolamento U_i, del grado di inquinamento e del gruppo del materiale.

La misura diretta di tali segmenti evidenzia raramente situazioni critiche, giacché le normali tolleranze meccaniche e geometriche superano abbondantemente questi valori.

Tabella 9.4

Tensione Nominale d'isolamento U_i V	Minime distanze d'isolamento superficiali mm							
	Grado di inquinamento							
	1 Gruppo del materiale	2 Gruppo del materiale			3 Gruppo del materiale			
	I	I	II	IIIa e IIIb	I	II	IIIa	IIIb
32	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
40	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	1.8
50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	1.9
63	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	2	2
80	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	2.1	2.1
100	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	2	2.2	2.2
125	1.5	1.5	1.5	1.5	1.9	2.1	2.4	2.4
160	1.5	1.5	1.5	1.6	2	2.2	2.5	2.5
200	1.5	1.5	1.5	2	2.5	2.8	3.2	3.2
250	1.5	1.5	1.8	2.5	3.2	3.6	4	4
320	1.5	1.6	2.2	3.2	4	4.5	5	5
400	1.5	2	2.8	4	5	5.6	6.3	6.3
500	1.5	2.5	3.6	5	6.3	7.1	8.0	8.0
630	1.8	3.2	4.5	6.3	8	9	10	10
800	2.4	4	5.6	8	10	11	12.5	
1000	3.2	5	7.1	10	12.5	14	16	
1250	4.2	6.3	9	12.5	16	18	20	
1600	5.6	8	11	16	20	22	25	

9.2 Prova di tenuta dielettrica all'impulso di tensione

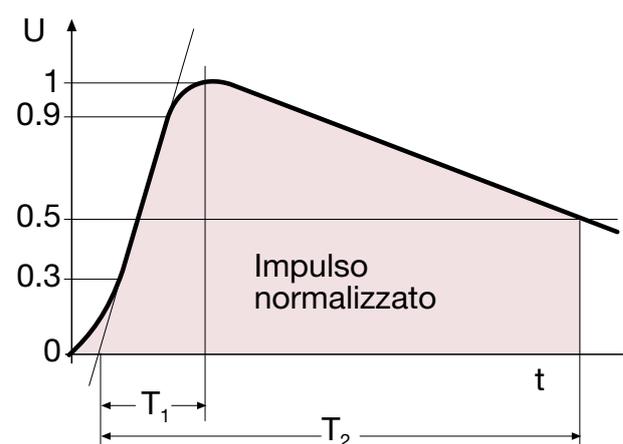
In passato solo facoltativa, la prova all'impulso, che consente di definire la tensione nominale di tenuta all'impulso U_{imp}, assume adesso una valenza di necessità, a dimostrazione della strategia delle norme di valorizzare sempre più tale prestazione.
Oltre alle consuete sovratensioni alternate, in entrata solitamente dalla linea d'alimentazione, gli impianti e i relativi quadri elettrici sono potenziali vittime di picchi e sbalzi transitori e non lineari della tensione, prodotti da cause atmosferiche (fulminazioni) sia dirette, quando incidono materialmente sulla struttura, che indirette, quando il loro effetto è mediato dai campi elettromagnetici indotti attorno al punto d'impatto del fulmine.
La capacità dei quadri di sopportare tali sforzi si gioca tutta sulla tenuta dielettrica dell'aria che si trova tra le due parti attive sulle quali si sostiene l'impulso. In precedenza si definiva tale prestazione solo attraverso una prova sperimentale; nella nuova CEI EN 61439 alla prova si è aggiunta in alternativa e con pari validità anche una "regola di progetto".

La prova prevede l'applicazione dell'impulso di tensione 1,2/50 μs (vedi figura 9.3) in base ad una procedura particolare.
L'impulso si applica cinque volte a intervalli maggiori di un secondo tra
- tutti i circuiti cortocircuitati tra loro e l'involucro connesso a terra
- ciascun polo rispetto a tutti gli altri corto-circuitati con l'involucro e a terra.

Stabilito il profilo dell'impulso, l'ulteriore valore che consente la verifica è ovviamente quello di cresta, che rappresenta il massimo assoluto della funzione.

L'attuale tendenza, che rileviamo nelle tabelle della CEI EN 61439-1, valorizza alcuni valori tondi come il sei, l'otto, il dieci e il dodici kV.

La prova diretta si esegue basandosi su una specifica tabella (Tabella 10 della CEI EN 61439-1, riportata sotto), che propone l'alternativa fra impulso effettivo, tensione alternata (in valore efficace) e tensione continua, con il valore definito in funzione dell'altitudine e dunque della qualità dell'aria ambiente circostante al quadro in prova.
La prova si considera superata se non si rileva alcun tipo di scarica.

Figura 9.3

T1: tempo di picco = 1,2 μs

T2: tempo all'emivalore = 50 μs

Tabella 9.5

Tensione nominale di tenuta ad impulso Uimp kV	Tensioni di tenuta ad impulso									
	U1,2/50, a.c. picco e d.c. kV					Valore efficace in c.a. kV				
	Livello del mare	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m	Sea level	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m
2,5	2,95	2,8	2,8	2,7	2,5	2,1	2	2	1,9	1,8
4	4,8	4,8	4,7	4,4	4	3,4	3,4	3,3	3,1	2,8
6	7,3	7,2	7	6,7	6	5,1	5,1	5	4,7	4,2
8	9,8	9,6	9,3	9	8	6,9	6,8	6,6	6,4	5,7
12	14,8	14,5	14	13,3	12	10,5	10,3	9,9	9,4	8,5

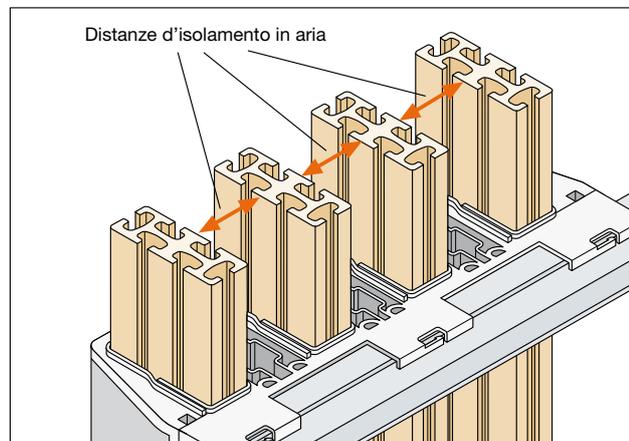
La verifica attraverso le regole di progetto (in alternativa alla prova) prevede di accertare che le distanze d'isolamento in aria tra tutte le parti in tensione e a rischio di scarica, siano almeno 1,5 volte i valori specificati nella Tabella 1 della CEI EN 61439-1(vedi tabella 9.6).
Il fattore di sicurezza 1.5 tiene in considerazione le tolleranze di fabbricazione.

Tabella 9.6

Tensione nominale di tenuta ad impulso U_{imp} kV	Minime distanze d'isolamento in aria mm
≤ 2,5	1,5
4,0	3,0
6,0	5,5
8,0	8,0
12,0	14,0

[a] Basate su un campo non omogeneo, condizioni e grado d'inquinamento 3

Le distanze d'isolamento in aria si possono verificare mediante misure fisiche, o mediante verifiche delle quote dei disegni progettuali.

Figura 9.4

Va da se che, affinché l'intero quadro possa disporre di una determinata U_{imp}, oltre alla prova o alla regola di progetto che giustificano tale specifica, anche ciascun componente installato al suo interno deve disporre di una U_{imp} uguale o maggiore.

Il sistema ArTu da anni offre una tenuta dielettrica sia a 50 Hz che all'impulso e in particolare:

- le versioni L e M dispongono di
  - * U_n di 690 V
  - * U_i di 1000 V
  - * U_{imp} di 6 kV a parete e di 8 kV a pavimento

- la versione K dispone di
  - * U_n e U_i di 1000 V
  - * U_{imp} di 8 kV

10 Protezione contro le scosse elettriche

Le prescrizioni che seguono sono destinate ad assicurare che le misure protettive richieste siano attuate quando il quadro è installato nell'impianto elettrico, conformemente alle norme relative.

10.1 Protezione contro i contatti diretti

La protezione contro i contatti diretti può essere ottenuta sia attraverso la costruzione stessa del quadro, sia mediante provvedimenti complementari da adottare durante l'installazione.
Le misure di protezione contro i contatti diretti sono:

- **Protezione mediante isolamento delle parti attive**
  Le parti attive devono essere completamente ricoperte con un isolante che può essere rimosso solo mediante la sua distruzione.
  Questo isolamento deve essere realizzato con materiali idonei in grado di resistere nel tempo alle sollecitazioni meccaniche, elettriche e termiche a cui possono essere sottoposti durante il servizio.
  Vernici, pitture, lacche ed altri prodotti analoghi usati da soli non sono generalmente considerati adatti a fornire un adeguato isolamento per la protezione contro i contatti diretti.

- **Protezione mediante barriere o involucri**
  Tutte le superfici esterne devono avere un grado di protezione almeno uguale a IPXXB.
  Le superfici orizzontali accessibili, fino a un'altezza di 1,6 metri, devono avere grado minimo IPXXD.
  La distanza tra i dispositivi meccanici previsti per la protezione e le parti attive da essi protette non deve essere inferiore ai valori specificati per le distanze in aria e superficiali.
  Tutte le barriere e gli involucri devono essere fissati in modo sicuro al loro posto.
  Tenendo presente la loro natura, dimensione e disposizione, essi devono avere robustezza e durata sufficienti a resistere agli sforzi e alle sollecitazioni che possono manifestarsi in servizio normale, senza ridurre le distanze di isolamento in aria.

- **Protezione mediante ostacoli**
  Questa protezione si applica ai quadri di tipo aperto.

10.2 Protezione contro i contatti indiretti

L'utilizzatore deve indicare la misura di protezione relativa all'installazione a cui è destinato il quadro.
Le misure di protezione contro i contatti indiretti sono:

- **Protezione realizzata con l'utilizzo di circuiti di protezione**
  Il circuito di protezione (coordinato con il dispositivo per la disconnessione automatica dell'alimentazione) può essere realizzato separatamente dall'involucro metallico, oppure lo stesso involucro metallico può essere usato come parte del circuito di protezione.
  Le masse del quadro che non costituiscono pericolo, in quanto non possono essere toccate su superfici estese oppure afferrate con le mani perché sono di piccola dimensione (ad esempio le viti, le targhette, ecc.), non necessitano di essere collegate al circuito di protezione.
  Gli organi di comando manuali, come leve, maniglie ed altri dispositivi di materiale metallico, devono invece essere collegati in modo sicuro con le parti connesse al circuito di protezione oppure devono avere un isolamento supplementare adeguato per la massima tensione di isolamento del quadro.
  Le parti metalliche ricoperte con uno strato di vernice o smalto non possono in genere essere ritenute adeguatamente isolate per soddisfare queste prescrizioni.
  Per coperchi, porte, piastre di chiusura, ecc., i normali collegamenti realizzati attraverso viti metalliche o cerniere sono sufficienti per la continuità elettrica, purché non vengano montati su di essi apparecchi elettrici che necessitano di un collegamento delle masse a terra.
  In questo caso le masse devono essere collegate mediante un conduttore di protezione di sezione almeno pari alla sezione massima del conduttore di fase che alimenta l'apparecchio.
  La sezione dei conduttori di protezione (PE, PEN) destinati ad essere connessi a conduttori esterni in un quadro deve essere determinata con uno dei seguenti metodi:

a) La sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore a quella specifica indicata in tabella.

Tabella 10.1

Sezione del conduttore di fase S (mm)	Sezione minima del corrispondente conduttore di protezione S (mm)
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
35 < S ≤ 400	S/2
400 < S ≤ 800	200
S > 800	S/4

Se dall'applicazione di questa tabella risulta un valore non normalizzato, deve essere adottata la sezione unificata maggiore più vicina al valore calcolato.

I valori della tabella sono validi soltanto se il conduttore di protezione (PE, PEN) è costituito dallo stesso materiale del conduttore di fase. In caso contrario, la sezione del conduttore di protezione (PE, PEN) deve essere determi-

nata in modo da ottenere una conduttanza equivalente a quella che risulta dall'applicazione della tabella.

Per i conduttori PEN si devono inoltre applicare le seguenti prescrizioni supplementari:
- la sezione minima deve essere di 10 mm^2 per un conduttore in rame e di 16 mm^2 per un conduttore in alluminio;
- la sezione del conduttore PEN non deve essere inferiore a quella del conduttore di neutro*;
- non è necessario che i conduttori PEN siano isolati all'interno del quadro;
- le parti della struttura non devono essere utilizzate come conduttore PEN. Tuttavia guide di montaggio in rame o in alluminio possono essere utilizzate come conduttori PEN;
- per alcune applicazioni, per le quali la corrente nel conduttore PEN può raggiungere valori elevati, come ad esempio in grandi installazioni di illuminazione con lampade fluorescenti, può essere necessario un conduttore PEN avente la stessa portata dei conduttori di fase o una portata superiore; ciò deve essere oggetto di particolare accordo tra il costruttore e l'utilizzatore.

* La minima sezione del neutro in un circuito trifase più neutro deve essere:
- Per i circuiti con una sezione del conduttore di fase S ≤ 16 mm^2, il 100% di quella delle fasi corrispondenti.
- Per i circuiti con una sezione del conduttore di fase S > 16 mm^2, il 50% di quella delle fasi corrispondenti con un minimo di 16 mm^2.

Si assume che le correnti di neutro non superino il 50% delle correnti di fase.

b) La sezione del conduttore di protezione (PE, PEN) può essere calcolata con l'aiuto della formula qui indicata:

$$S_P = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

La formula è utilizzata per calcolare la sezione dei conduttori di protezione necessaria per sopportare le sollecitazioni termiche causate da correnti di durata dell'ordine compreso tra 0,2s e 5s, dove:
Sp è l'area della sezione espressa in mm^2;
I è il valore efficace della corrente di guasto (in AC) che percorre il dispositivo di protezione, espressa in A, per un guasto di impedenza trascurabile;
t è il tempo di intervento del dispositivo di interruzione, in secondi;
k è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dall'isolamento e da altri elementi, oltre che dalla temperatura iniziale e finale (vedi tabella 10.2).

Tabella 10.2

Valori del fattore k per conduttori di protezione isolati non incorporati in cavi o conduttori di protezione nudi in contatto con rivestimenti di cavi.

		PVC	XLPE EPR Conduttori nudi	Gomma butilica
Temperatura finale		**160 °C**	**250 °C**	**220 °C**
K per conduttore	rame	143	176	166
	alluminio	95	116	110
	acciaio	52	64	60

Nota: si suppone che la temperatura iniziale dei conduttori sia di 30 °C.

Le masse di un dispositivo che non possono essere collegate al circuito di protezione con i suoi mezzi di fissaggio, devono essere collegate al circuito di protezione del quadro con un conduttore la cui sezione è scelta secondo la seguente tabella:

Tabella 10.3

Corrente nominale di impiego I_n (A)	Sezione minima del conduttore protettivo equipotenziale (mm^2)
$I_n \leq 20$	S
$20 < I_n \leq 25$	2.5
$25 < I_n \leq 32$	4
$32 < I_n \leq 63$	6
$63 < I_n$	10

S: sezione del conduttore di fase

- **Protezione realizzata con misure diverse dall'impiego di circuiti di protezione**
  I quadri elettrici possono fornire protezione contro contatti indiretti per mezzo delle seguenti misure che non richiedono un circuito di protezione:
  a) separazione elettrica dei circuiti;
  b) isolamento completo.

10.3 La gestione in sicurezza del quadro

L'impiego del quadro deve garantire le consuete protezioni di sicurezza, sia in caso di manovra che in caso di sostituzione di piccoli componenti, come lampade e fusibili, a cura di personale ordinario, qualora tale procedura sia prevista.
Interventi più complessi o pericolosi possono essere svolti solo da personale autorizzato e riguardano l'attuazione di particolari procedure e l'uso di particolari componenti di sicurezza, relativamente all'accessibilità del quadro, per:
- ispezioni e controlli;
- manutenzione;
- lavori di ampliamento anche sotto tensione.

11 Indicazioni pratiche per la realizzazione del quadro

11.1 Assemblaggio del quadro elettrico

L'assemblaggio dei diversi componenti meccanici ed elettrici (involucri, sbarre, unità funzionali, ecc.), che compongono il sistema quadro definito dal costruttore originale, deve essere fatto in accordo con le istruzioni (catalogo tecnico/manuale di montaggio) del costruttore stesso.

Dopo aver predisposto i particolari sciolti, che andranno assiemati, s'inizia componendo la carpenteria. Nel caso dell'ArTu essa può essere già pronta come monoblocco, ed è il caso dell'ArTu M, oppure da comporre come per l'ArTu L e K.

Per quadri di piccola e media taglia, l'inserimento dei prodotti all'interno può essere eseguito più agevolmente disponendo l'involucro orizzontalmente su appositi cavalletti. In tal modo, lavorando a livello del bacino, si evita di tenere le braccia alzate e le gambe piegate come si farebbe con un involucro posto in verticale.

Un ulteriore vantaggio sull'accessibilità interna si ha operando senza i fianchi metallici della carpenteria, lasciando, per così dire, a nudo l'intero cablaggio interno.

Ovviamente sarà opportuno procedere montando gli apparecchi dal centro verso l'esterno, cablando man mano i cavi e inserendoli nelle relative canaline.
Già in questa fase, si deve porre particolare attenzione nel rispettare le distanze minime in aria e superficiali tra le diverse parti attive e la massa.

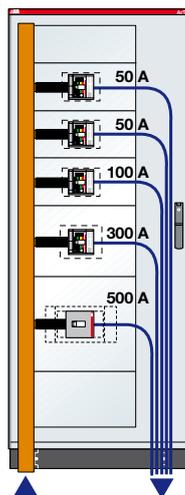
11.2 Posizionamento degli interruttori

Di seguito sono descritte alcune indicazioni, di carattere generale, per una migliore disposizione degli interruttori all'interno del quadro.
È il realizzatore del quadro che, conoscendo meglio i particolari concernenti l'impianto, il luogo d'installazione e l'effettivo utilizzo, può disegnare, in maniera ottimale, il fronte quadro.

- Buona regola è quella di cercare di mettere gli interruttori in modo da ridurne il più possibile i percorsi delle correnti più elevate, in tal modo si riduce la potenza dissipata all'interno del quadro con indubbi benefici dal punto di vista termico ed economico.

Figura 11.1

Posizionamento consigliato:

La corrente MAGGIORE (500 A) fa il percorso più BREVE

Posizionamento NON consigliato:

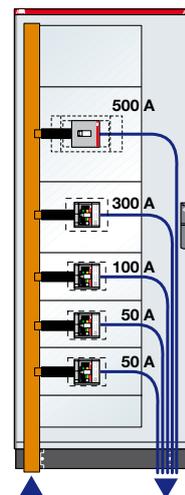
La corrente MAGGIORE (500 A) fa il percorso più LUNGO

- Nel caso di quadri con molte colonne è consigliabile, ove possibile, posizionare l'interruttore generale nella colonna centrale.
  In questo modo si divide immediatamente la corrente nei due rami del quadro e si può ridurre la sezione delle barre di distribuzione principale.

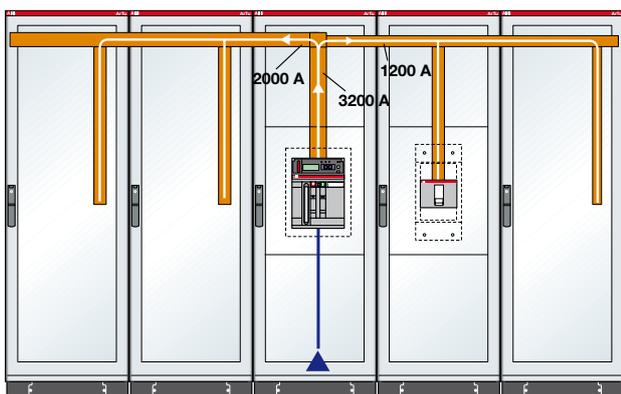
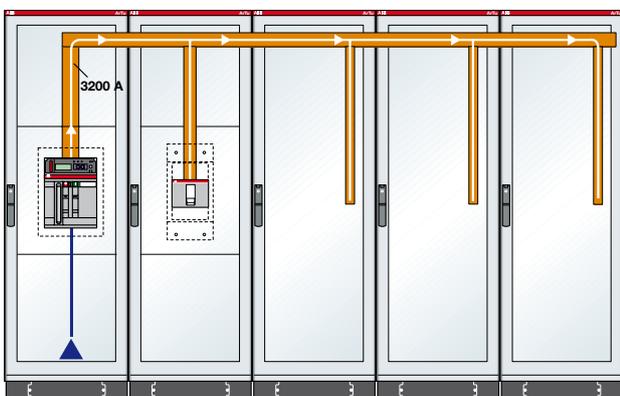
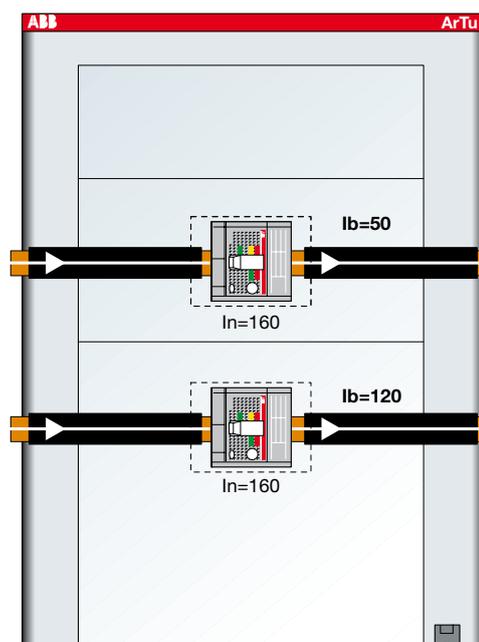
Figura 11.2

Nell'esempio in figura il sistema di barre principale può essere dimensionato per 2000 A, con un notevole vantaggio economico.

Figura 11.3

In questo caso invece il sistema di barre principale deve essere dimensionato per portare 3200 A.

- Si consiglia di posizionare gli interruttori più grossi e quindi più pesanti in basso.
  Questo permette una migliore stabilità del quadro sopratutto durante il trasporto e l'installazione.

- In un quadro elettrico la temperatura varia in senso verticale:
  - le zone più basse sono le più fredde,
  - le zone più alte sono le più calde.

Per questa ragione si consiglia di mettere in basso gli apparecchi attraversati da una corrente prossima al valore nominale (più carichi) ed in alto gli apparecchi attraversati da una corrente lontana dal valore nominale (più scarichi).

Figura 11.4

- Per facilitare la manovra dei grossi apparecchi è consigliabile posizionarli tra 0,8 m e 1,6 m da terra

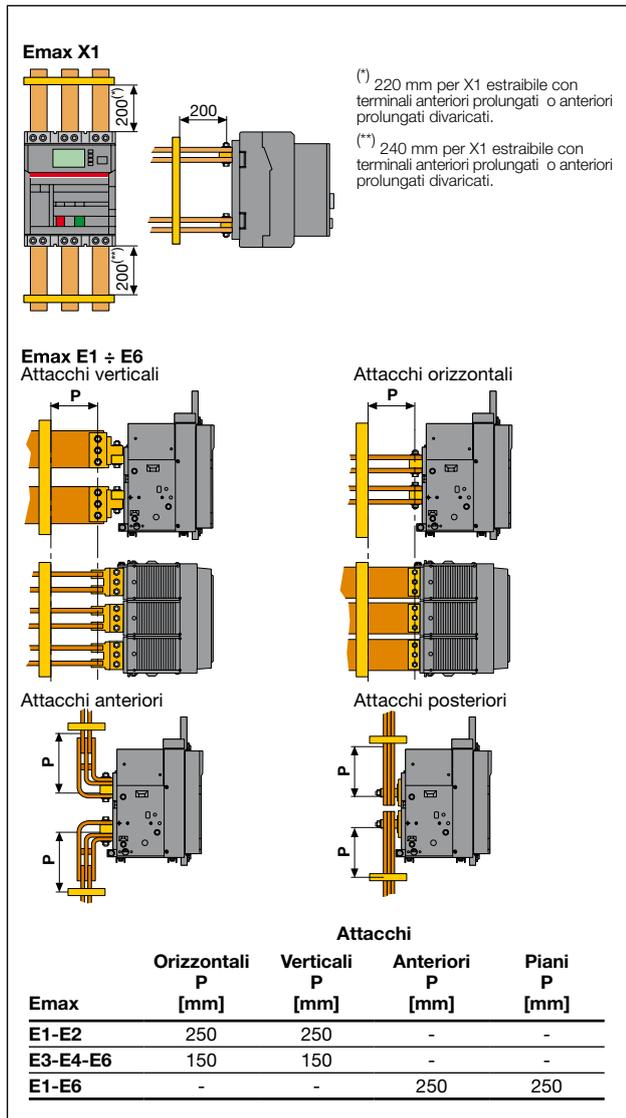
11.3 Ammaraggio dei conduttori in prossimità degli interruttori

All'interno dei quadri è necessario che i cavi e le barre siano fissati alla struttura. Infatti, durante un cortocircuito, le sollecitazioni elettrodinamiche prodotte nei conduttori potrebbero danneggiare i terminali degli interruttori.

Emax

La figura 11.5 fornisce, per gli interruttori aperti Emax, un esempio della massima distanza (in mm) a cui posizionare il primo setto di ancoraggio, delle barre che si connettono all'interruttore, in funzione del tipo di terminale e con riferimento al più alto valore ammissibile della corrente di cortocircuito e del relativo picco. Per ulteriori dettagli si vedano i cataloghi tecnici e i manuali degli interruttori.

Figura 11.5

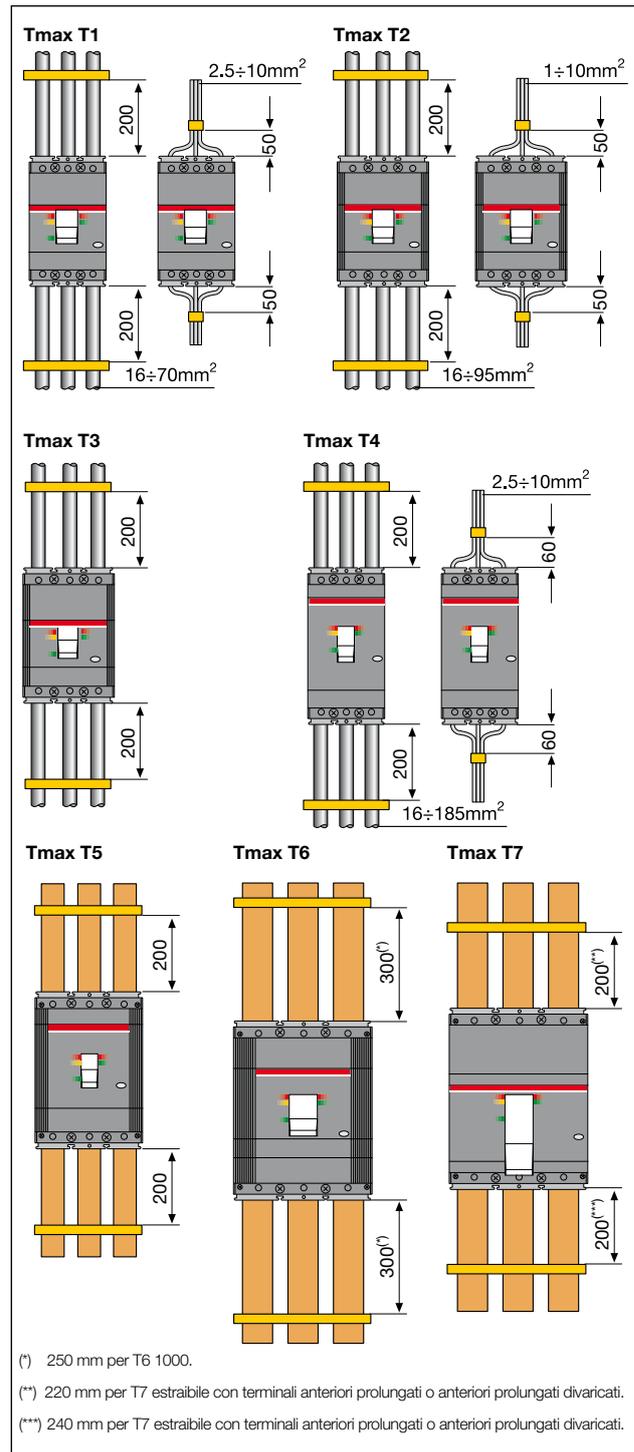
	Attacchi			
Emax	Orizzontali P [mm]	Verticali P [mm]	Anteriori P [mm]	Piani P [mm]
E1-E2	250	250	-	-
E3-E4-E6	150	150	-	-
E1-E6	-	-	250	250

Tmax

Per gli interruttori scatolati Tmax si fornisce, in Figura 11.6, un esempio della distanza massima consigliata (in mm) a cui porre il primo setto di ancoraggio, in relazione alla massima corrente di picco ammissibile per l'interruttore. Per approfondimenti si rimanda ai cataloghi tecnici e ai manuali degli interruttori.

Figura 11.6

(*) 250 mm per T6 1000.

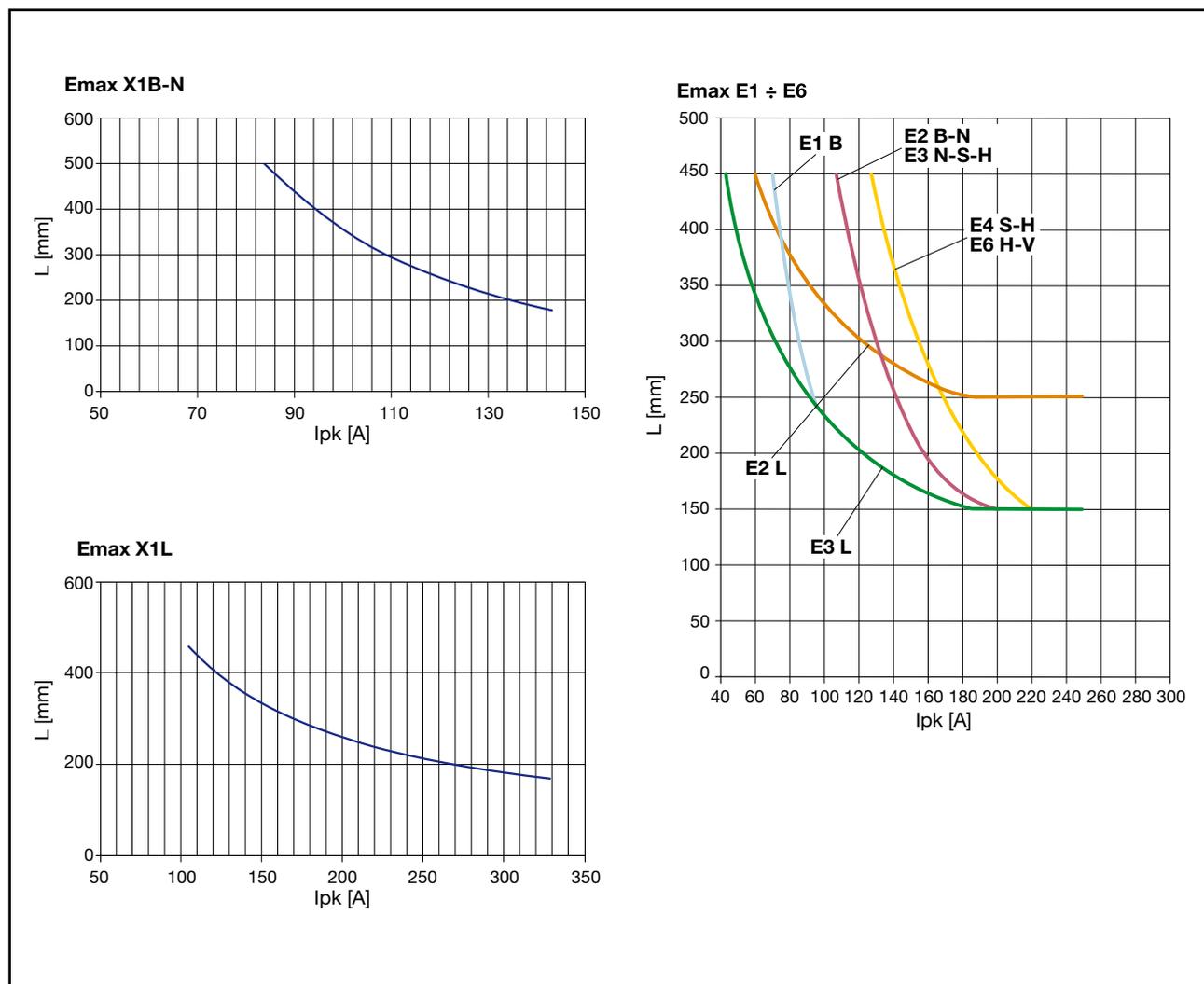
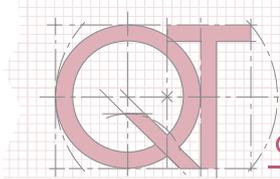
(**) 220 mm per T7 estraibile con terminali anteriori prolungati o anteriori prolungati divaricati.

(***) 240 mm per T7 estraibile con terminali anteriori prolungati o anteriori prolungati divaricati.

Di seguito sono riportati i grafici che, in funzione del picco della corrente di cortocircuito massima presunta e della tipologia d'interruttore, forniscono le massime distanze ammesse tra i terminali dell'interruttore e il primo elemento di ancoraggio dei conduttori.

Per conduttori ci si riferisce:
- a cavi, per correnti fino a 400 A;
- a cavi oppure alle sbarre equivalenti date nella Tabella 12 della CEI EN 61439-1, per correnti superiori a 400 A e non superiori a 800 A;
- a sbarre, per correnti superiori a 800 A e non superiori a 4000 A.

Questa distinzione è fatta conformemente alle Tabelle 11 e 12 della Norma CEI EN 61439-1.
Se le esigenze specifiche richiedono o prevedono l'utilizzo di sbarre anche per correnti inferiori a 400A, le distanze ricavabili dai grafici non subiscono variazioni, mentre le distanze riferite all'utilizzo di sbarre non sono valide se si utilizzano cavi.

Emax
- Distanza di posizionamento consigliata per il primo setto di ancoraggio delle sbarre in funzione del picco della corrente di cortocircuito massima presunta. Interruttore con terminali orizzontali e verticali.

Figura 11.7

Tmax

- Distanza di posizionamento consigliata per il primo setto di ancoraggio dei conduttori in funzione del picco della corrente di cortocircuito massima presunta.

Figura 11.8

Tmax T1

L [mm] — Ip [kA]

Tmax T2

L [mm] — Ip [kA]

Tmax T3

L [mm] — Ip [kA]

Tmax T4-T5

T4
T5 *

L [mm] — Ip [kA]

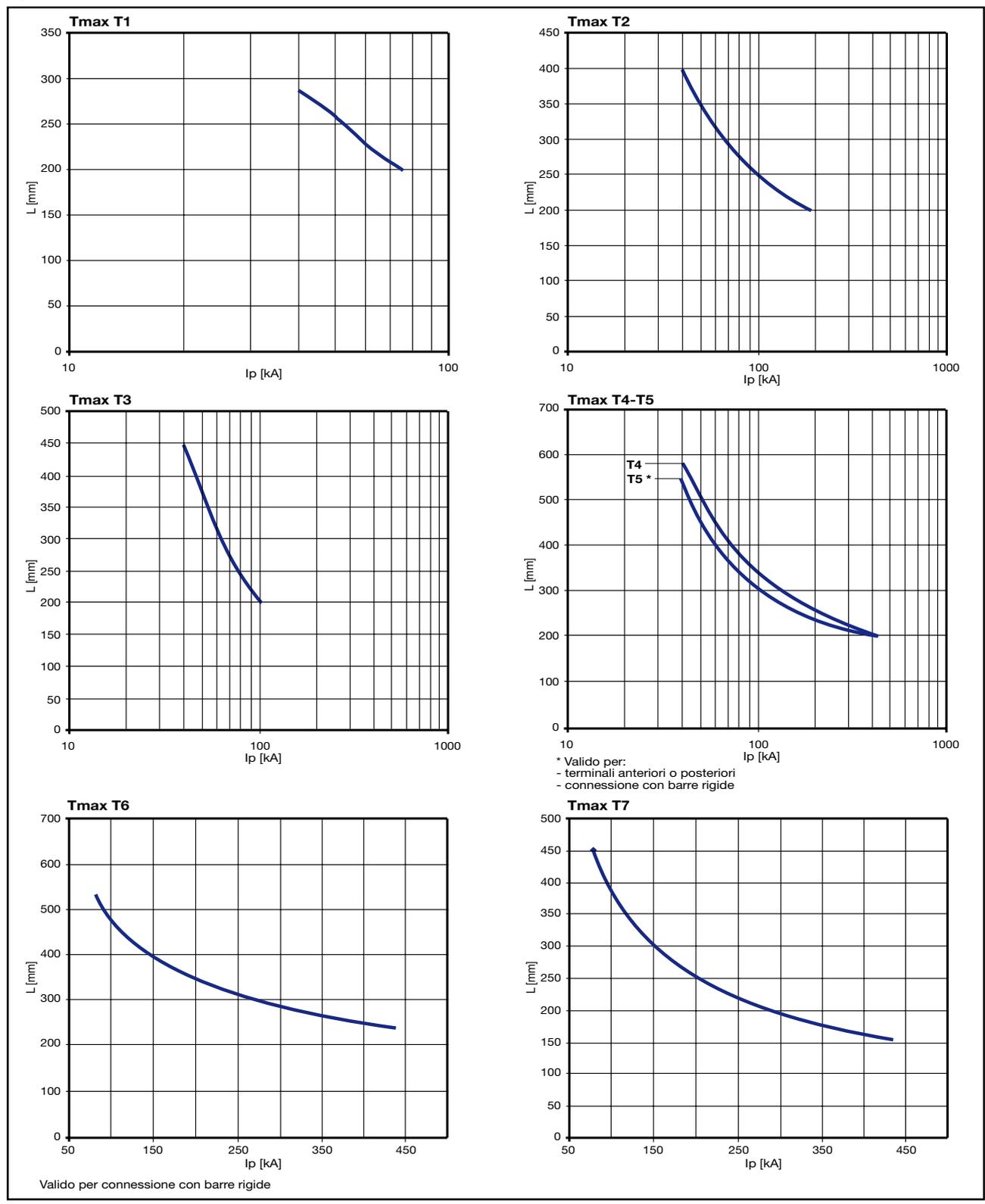
* Valido per:
- terminali anteriori o posteriori
- connessione con barre rigide

Tmax T6

L [mm] — Ip [kA]

Valido per connessione con barre rigide

Tmax T7

L [mm] — Ip [kA]

11.4 Indicazioni per la connessione degli interruttori con il sistema sbarre

Al fine di ottenere una connessione che permetta uno scambio di calore adeguato tra i terminali e il sistema di distribuzione del quadro, ABB SACE fornisce l'indicazione della sezione minima dei cavi e delle sbarre che devono essere utilizzate.

Di seguito riportiamo, in Tabella 11.1, le indicazioni per interruttori scatolati serie Tmax T e SACE Tmax XT e , in Tabella 11.2, le indicazioni per interruttori aperti serie Emax ed Emax X1.

La sezione dei cavi e delle sbarre riportate nelle Tabelle 11.1 e 11.2 sono quelle impiegate per determinare la portata nominale in aria libera degli interruttori secondo la norma di prodotto CEI EN 60947-2.

Tabella 11.1

Interruttore Tmax T	In [A]	Cavi [n //] x [mm²]	Barre [n //] x [mm] x [mm]
T2	≤ 8	1	
T2-T4	10	1,5	
T1-T2	16	2,5	
T1-T2-T4	20	2,5	
T1-T2-T4	25	4	
T1-T2-T4	32	6	
T1-T2-T4	40	10	
T1-T2-T4	50	10	
T1-T2-T3-T4	63	16	
T1-T2-T3-T4	80	25	
T1-T2-T3-T4	100	35	
T1-T2-T3-T4	125	50	
T1-T2-T3-T4	160	70	
T3-T4	200	95	
T3-T4	250	120	
T4-T5	320	185	
T5	400	240	
T5	500	2x150	2x30x5
T5-T6	630	2x185	2x40x5
T6	800	2x240	2x50x5
T6-T7	1000	3x240	2x60x5
T7	1250	4x240	2x80x5
T7	1600	5x240	2x100x5

Interruttore SACE Tmax XT	In [A]	Cavi [n //] x [mm²]
XT2	≤ 8	1
XT2	10	1,5
XT2	12,5	2,5
XT1-XT2-XT4	16	2,5
XT1-XT2-XT4	20	2,5
XT1-XT4	25	4
XT1-XT2-XT4	32	6
XT1-XT2-XT4	40	10
XT1-XT2-XT4	50	10
XT1-XT2-XT3-XT4	63	16
XT1-XT2-XT3-XT4	80	25
XT1-XT2-XT3-XT4	100	35
XT1-XT2-XT3-XT4	125	50
XT1-XT2-XT3-XT4	160	70
XT3-XT4	200	95
XT4	225	95
XT3-XT4	250	120

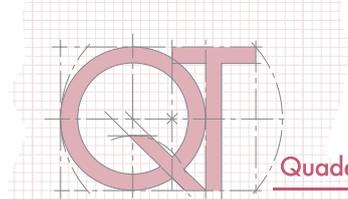



Tabella 11.2

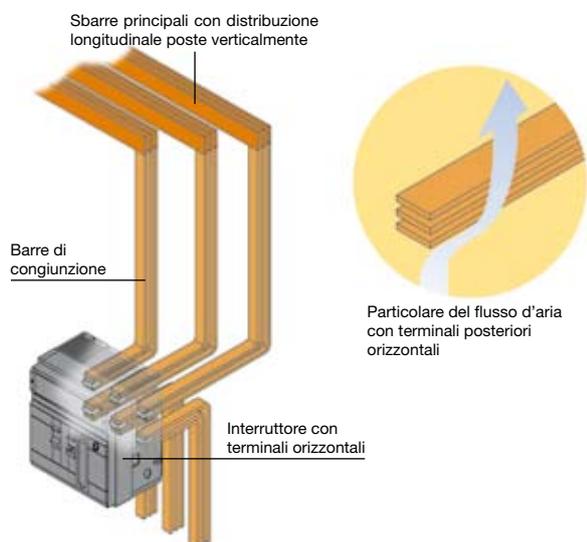
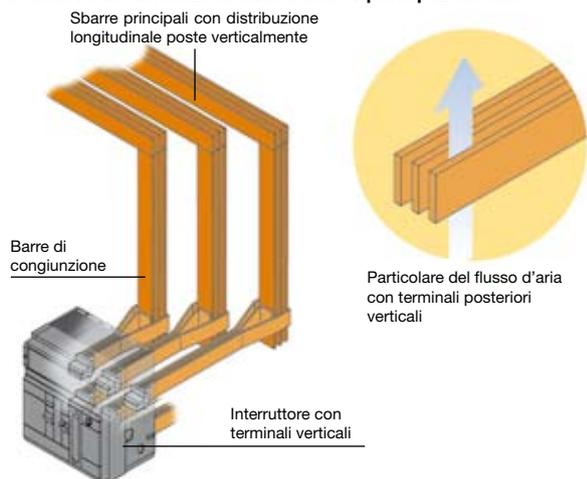
Interruttore Emax X1	Terminali verticali [n //] x [mm]x [mm]	Terminali orizzontali [n //] x [mm] x [mm]
X1 B/N/L 06	2x40x5	2x40x5
X1 B/N/L 08	2x50x5	2x40x5
X1 B/N 10	2x50x8	2x50x10
X1 L 10	2x50x8	2x50x10
X1 B/N 12	2x50x8	2x50x10
X1 L 12	2x50x8	2x50x10
X1 B/N 16	2x50x10	3x50x8

Interruttore Emax	Terminali verticali [n //] x [mm x mm]	Terminali orizzontali e anteriori [n //]x[mm x mm]
E1B/N 08	1x(60x10)	1x(60x10)
E1B/N 12	1x(80x10)	2x(60x8)
E2B/N 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E2B/N 16	2x(60x10)	2x(60x10)
E2B/N 20	3x(60x10)	3x(60x10)
E2L 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E2L 16	2x(60x10)	2x(60x10)
E3S/H 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E3S/H 16	1x(100x10)	1x(100x10)
E3S/H 20	2x(100x10)	2x(100x10)
E3N/S/H 25	2x(100x10)	2x(100x10)
E3N/S/H 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E3L20	2x(100x10)	2x(100x10)
E3L 25	2x(100x10)	2x(100x10)
E4H/V 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E4S/H/V 40	4x(100x10)	6x(60x10)
E6V 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E6H/V 40	4x(100x10)	4x(100x10)
E6H/V 50	6x(100x10)	6x(100x10)
E6H/V 63	7x(100x10)	-

Per ottenere un miglior smaltimento del calore, sfruttando il fenomeno della convezione termica*, è consigliabile l'utilizzo di terminali posteriori verticali che, rispetto a quelli orizzontali, ostacolano meno il moto naturale dell'aria (vedi Figura 11.9) favorendo la dissipazione del calore.

* Fenomeno basato sul moto convettivo dell'aria che scaldandosi, tende a salire verso l'alto.

Figura 11.9

Interruttore con terminali orizzontali e sbarre principali verticali

Interruttore con terminali verticali e sbarre principali verticali

Come evidenziato in Figura 11.9 l'utilizzo dei terminali verticali comporta una laboriosa connessione con il sistema di sbarre principali posizionate verticalmente nella loro distribuzione longitudinale lungo il quadro.

Questo problema non si pone con lo stesso sistema di sbarre principali quando i terminali dell'interruttore sono orizzontali, infatti sbarre e terminali sono entrambi orientati secondo due piani di semplice raccordo.

Per facilitare la connessione tra terminali verticali, di interruttori Emax E4, e le barre di congiunzione alle sbarre principali, è possibile eseguire una connessione tramite sbarre opportunamente piegate come mostrato in Figura 11.10.

Figura 11.10

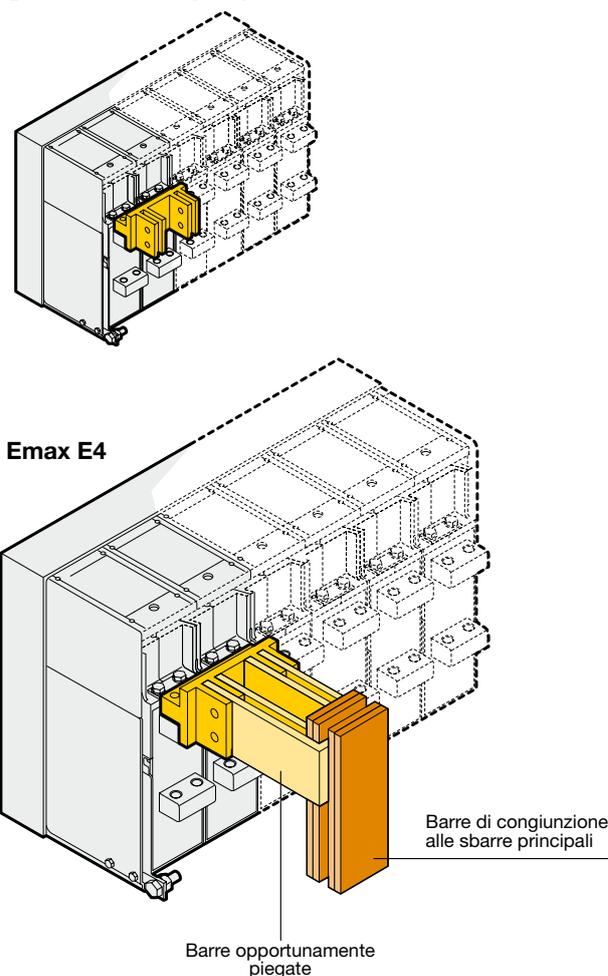
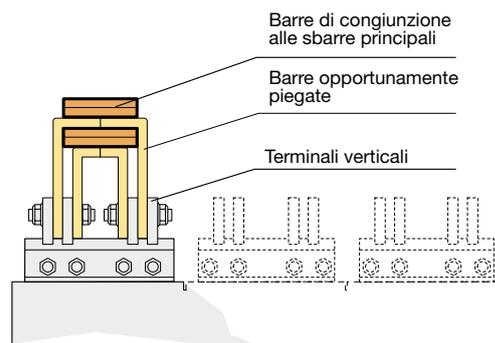
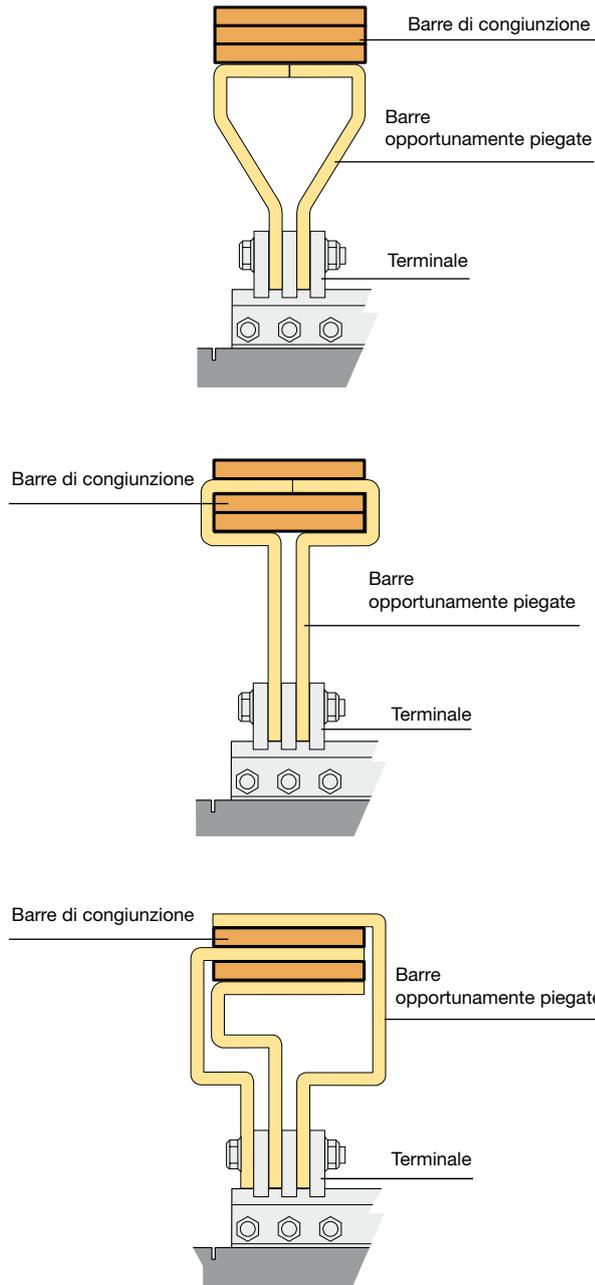
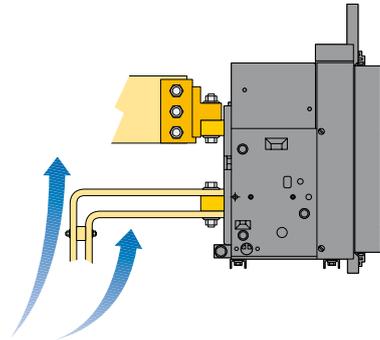
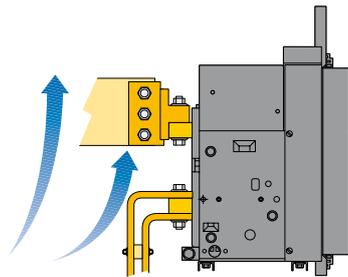
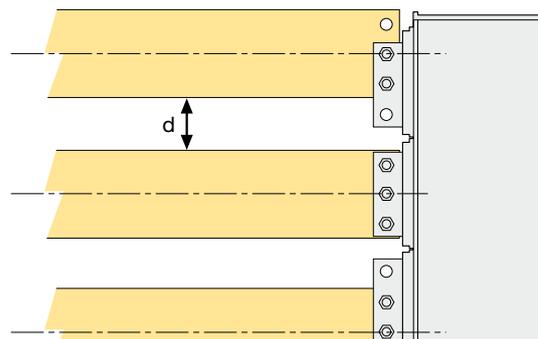
Terminali verticali per Emax E4 (particolare di 1 polo)

Vista dall'alto

In Figura 11.11 sono riportati, a titolo esemplificativo, altri tre disegni che mostrano una ipotetica soluzione per il collegamento dei terminali verticali alle barre di congiunzione relativamente ad interruttori Emax E3.

Figura 11.11

Quando si utilizzano terminali superiori verticali e terminali inferiori di altro tipo o comunque terminali superiori e inferiori diversi, si devono adottare soluzioni che non limitano la circolazione dell'aria verso i terminali superiori.

Come si vede nella Figura 11.12, i terminali inferiori non devono deviare eccessivamente il flusso d'aria impedendo che questo vada ad investire i terminali superiori, facendo così perdere i benefici effetti del raffreddamento per convezione.

Figura 11.12

Connessione inferiore con terminali posteriori orizzontali.
La circolazione dell'aria, in prossimità dei terminali superiori (verticali) è limitata.

Connessione inferiore con terminali anteriori.
La circolazione dell'aria, in prossimità dei terminali superiori (verticali) è solo parzialmente ridotta.

In generale, per ridurre il riscaldamento ai terminali dell'interruttore, il posizionamento delle sbarre assume una notevole importanza.
Tenendo conto che, più le sbarre sono distanti tra loro, più smaltiscono calore e che il terminale centrale superiore è solitamente quello con maggiori problemi dal punto di vista termico, per ridurne il riscaldamento, ad esempio nel caso di interruttori tripolari, è possibile disallineare le connessioni esterne rispetto ai terminali in modo da aumentarne la distanza "d" (vedi figura 11.13).

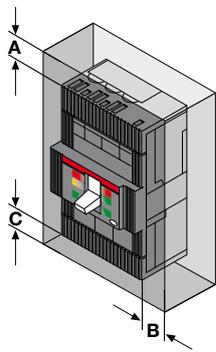
Figura 11.13

11.5 Indicazioni sulle distanze d'installazione degli interruttori

In accordo alla norma CEI EN 61439-1 è compito del costruttore degli interruttori quello di fornire le indicazioni e le prescrizioni relative all'installazione di questi all'interno del quadro.

Riportiamo qui di seguito, rispettivamente per gli interruttori ABB serie Tmax T, SACE Tmax XT, Emax X1 ed Emax, le indicazioni relative alle distanze da rispettare nelle installazioni fino a 690V c.a. Tali distanze sono quelle presenti nei cataloghi tecnici e nei manuali degli interruttori ai quali si rimanda per ulteriori approfondimenti.

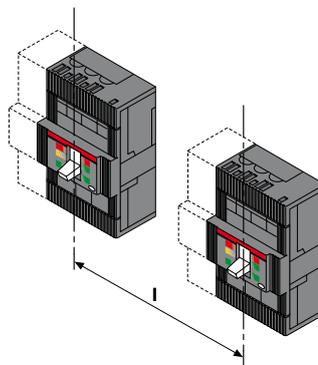
Figura 11.14

Tmax T

Distanze di isolamento per installazione

Tmax	A [mm]	B [mm]	C [mm]
T1	25	20	20
T2	25	20	20
T3	50	25	20
T4	30 (*)	25	25 (*)
T5	30 (*)	25	25 (*)
T6	35 (**)	25	20
T7	50 (**)	20	10

(*) Per Un ≥ 440V: A = 60 mm e C = 45 mm
(**) Per Un ≥ 440V (T6 e T7) o T6 L (Un < 440V): A = 100 mm
Nota: Per le distanze di isolamento degli interruttori a 1000V, chiedere ad ABB SACE.

Distanze tra due interruttori affiancati

Per il montaggio affiancato verificare che le sbarre o i cavi di collegamento non riducano la distanza di isolamento in aria.

Interasse minimo tra due interruttori affiancati

	Larghezza interruttore [mm]		Interasse I [mm]	
Tmax	**3 poli**	**4 poli**	**3 poli**	**4 poli**
T1	76	101	77	102
T2	90	120	90	120
T3	105	140	105	140
T4	105	140	105 (*)	140 (*)
T5	140	184	140 (**)	184 (**)
T6	210	280	210	280
T7	210	280	210	280

(*) Per Un ≥ 500V: I (3 poli) = 145 mm; I (4 poli) = 180 mm.
(**) Per Un ≥ 500V: I (3 poli) = 180 mm; I (4 poli) = 226 mm.

Distanza minima tra due interruttori sovrapposti

Per il montaggio sovrapposto verificare che le sbarre o i cavi di collegamento non riducano la distanza di isolamento in aria.

Tmax	H [mm]
T1	80
T2	90
T3	140
T4	160
T5	160
T6	180
T7	180

Note: Le dimensioni indicate valgono con tensioni di esercizio Un fino a 690 V. Le distanze di rispetto sono da aggiungere all'ingombro massimo degli interruttori nelle varie esecuzioni, terminali compresi. Per esecuzioni a 1000V, chiedere ad ABB SACE.

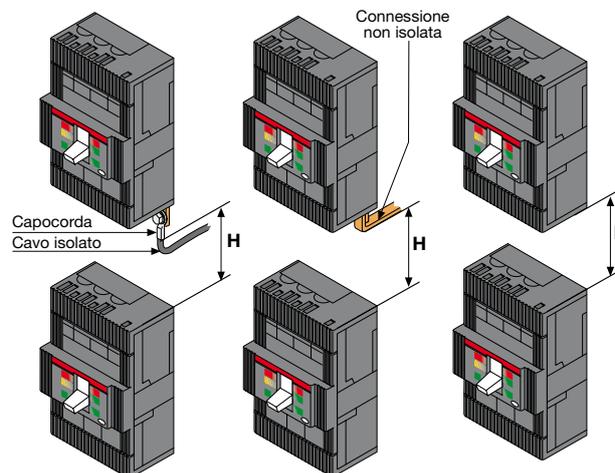



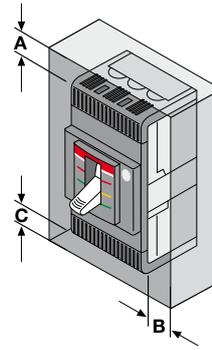
Figura 11.15

SACE Tmax XT

Distanze di isolamento per installazione in cubicolo metallico.

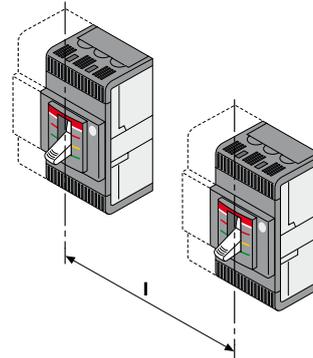
Un ≤ 440 V

SACE Tmax	A [mm]	B [mm]	C [mm]
XT1	25	20	20
XT2 (*)	30	20	25
XT3	50	20	20
XT4 (*)	30	20	25

(*) Per Un > 440V: A = 50 mm e C = 45 mm

Distanza minima tra due interruttori affiancati

Per il montaggio affiancato verificare che le sbarre o i cavi di collegamento non riducano la distanza di isolamento in aria.

Interasse minimo tra due interruttori affiancati

SACE Tmax	Larghezza interruttore [mm] 3 poli	Larghezza interruttore [mm] 4 poli	Interasse I [mm] 3 poli	Interasse I [mm] 4 poli
XT1	76	102	76	102
XT2	90	120	90	120
XT3	105	140	105	140
XT4	105	140	105	140

Distanza minima tra due interruttori sovrapposti

Per il montaggio sovrapposto verificare che le sbarre o i cavi di collegamento non riducano la distanza di isolamento in aria.

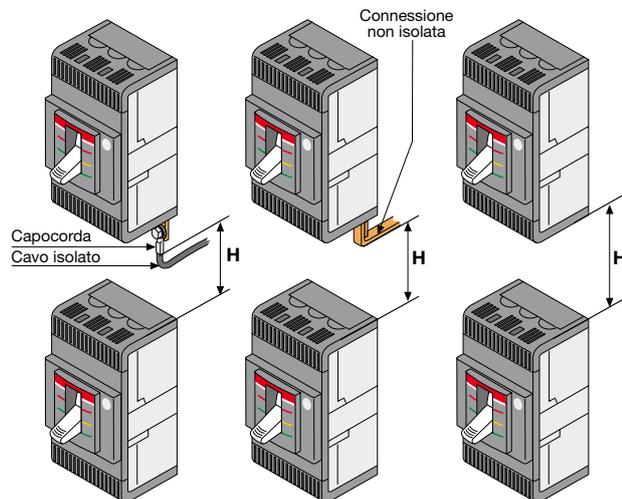
SACE Tmax	H [mm]
XT1	80
XT2	120
XT3	140
XT4	160

Note: Le distanze di rispetto sono da aggiungere all'ingombro massimo degli interruttori nelle varie esecuzioni, terminali compresi.

Figura 11.16

Emax X1

Distanze di isolamento per installazione

	Emax	A [mm]	B [mm]	C [mm]
Un < 440V	X1 versione fissa	50	20	10
	X1 versione estraibile	50	-	-
440 V ≤ Un≤ 690V	X1 versione fissa	100	20	10
	X1 versione estraibile	100	-	-

Note: Per i collegamenti si consiglia l'utilizzo di cavi o barre isolate oppure, di eseguire prove di tipo specifiche sull'installazione. Per le distanze di isolamento degli interruttori a 1000V, chiedere ad ABB SACE.

Distanze tra due interruttori affiancati

Emax	Larghezza interruttore [mm] 3 poli	Larghezza interruttore [mm] 4 poli	Distanza D [mm] 3 poli	Distanza D [mm] 4 poli
X1	210	280	0	0

Figura 11.17

Emax E1÷E6

Dimensione della cella

Emax	A [mm]	B [mm]
E1	400	490
E2	400	490
E3	500	630
E4	700	790
E4f	-	880
E6	1000	1130
E6f	-	1260

Emax versione fissa

B 4 poli; A 3 poli; 500; **242** min. **282** max

Emax versione estraibile

B 4 poli; A 3 poli; 500; **380**

11.6 Altre indicazioni logistiche e funzionali

Nell'allestimento del quadro anche il peso richiede attenzione.
L'esperienza e il buon senso hanno dimostrato che è bene:

- distribuire omogeneamente e comodamente i vari pezzi all'interno del quadro, nel rispetto dell'ergonomicità del loro impiego e dell'eventuale loro riparazione o sostituzione;
- mantenere basso il baricentro globale, collocando in basso le apparecchiature più pesanti, al fine di conseguire la massima stabilità statica;
- evitare di sovraccaricare le porte mobili, per non aumentare gli attriti e compromettere la funzionalità e la durata delle cerniere;
- non superare le massime portate di fissaggio delle pannellature di fondo e laterali, riportate nei fogli di montaggio.

Di seguito sono riportate alcune figure che visualizzano la caricabilità statica dei diversi pannelli di un quadro ABB.
In ogni caso si consiglia di posizionare in basso i trasformatori, gli interruttori più grossi e quindi più pesanti ed eventuali motori per ventilazione, per permettere una migliore stabilità del quadro soprattutto durante il trasporto e l'installazione.

Terminato il montaggio interno, si passa al fissaggio dei fianchi e delle porte di chiusura della carpenteria. Si solleva infine il tutto in posizione verticale e dopo un ultimo esame a vista si rende disponibile il quadro per il collaudo finale (verifiche individuali).

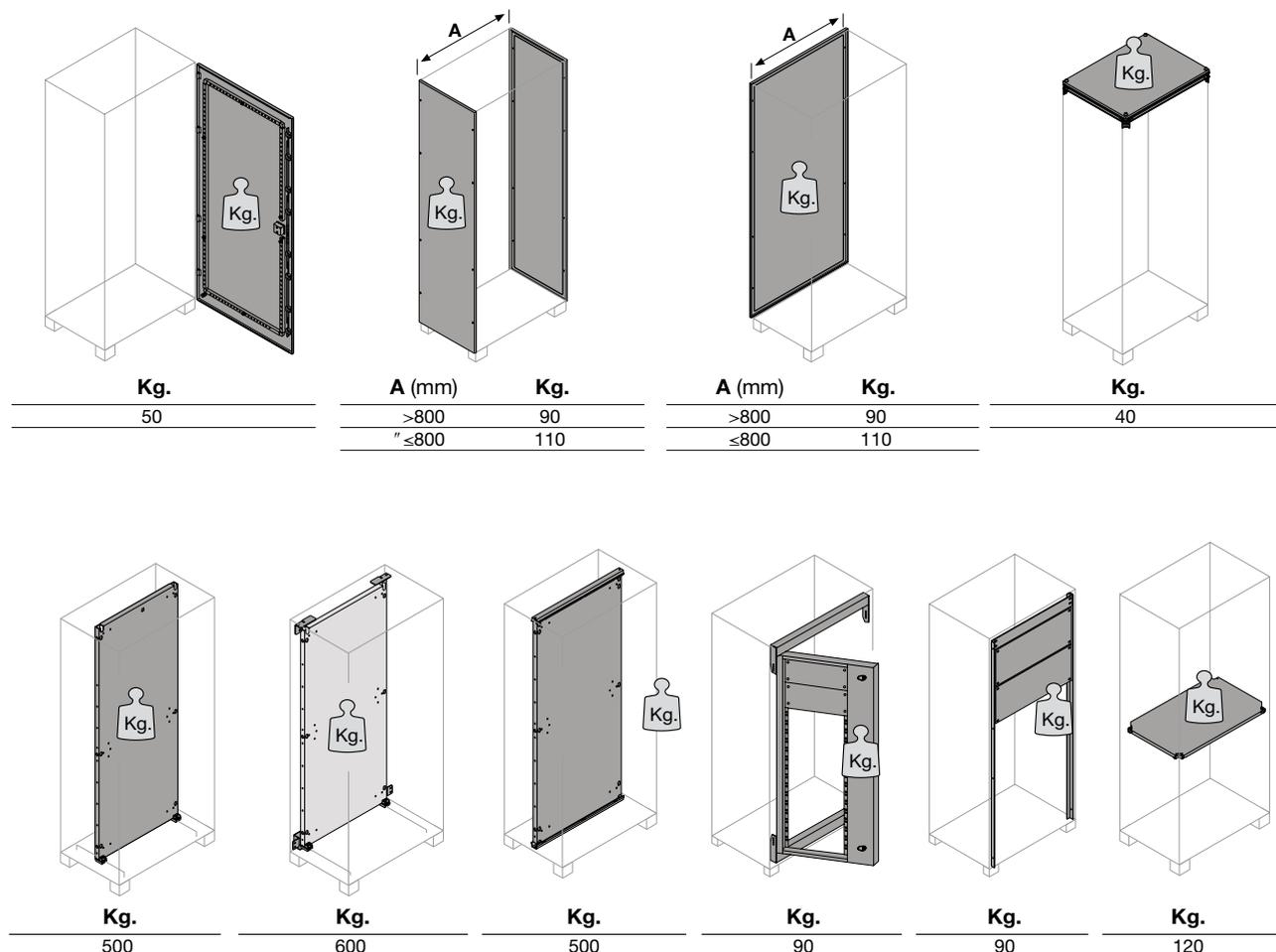
Figura 11.18

Kg.
50

A (mm)	**Kg.**
>800	90
″ ≤800	110

A (mm)	**Kg.**
>800	90
≤800	110

Kg.
40

Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
500	600	500	90	90	120

11.7 Movimentazione, trasporto e installazione finale

Nel caso di grosse unità di potenza o d'automazione un'altra situazione critica è rappresentata dall'accoppiamento di più scomparti a formare una batteria di quadri.
Qui è l'interfacciamento meccanico che deve essere particolarmente curato, date le notevoli sollecitazioni che le diverse carpenterie si trasmettono vicendevolmente, soprattutto nella delicata fase di carico e trasporto.

Ancora una volta emerge l'importanza dei fogli di montaggio, che devono essere chiari, dettagliati e completi, con tutte le indicazioni sui serraggi, le relative sequenze, nonché l'indicazione degli errori che si rischia di commettere per disattenzione o pressapochismo.
Nella figura che segue, si evidenziano alcuni punti che richiedono una particolare concentrazione al quadrista; si possono notare gli ottimali fissaggi che bloccano tra loro e in sicurezza le carpenterie. Particolare attenzione va prestata al cassonetto superiore indicato in figura e disponibile in talune versioni. In genere questo casso-

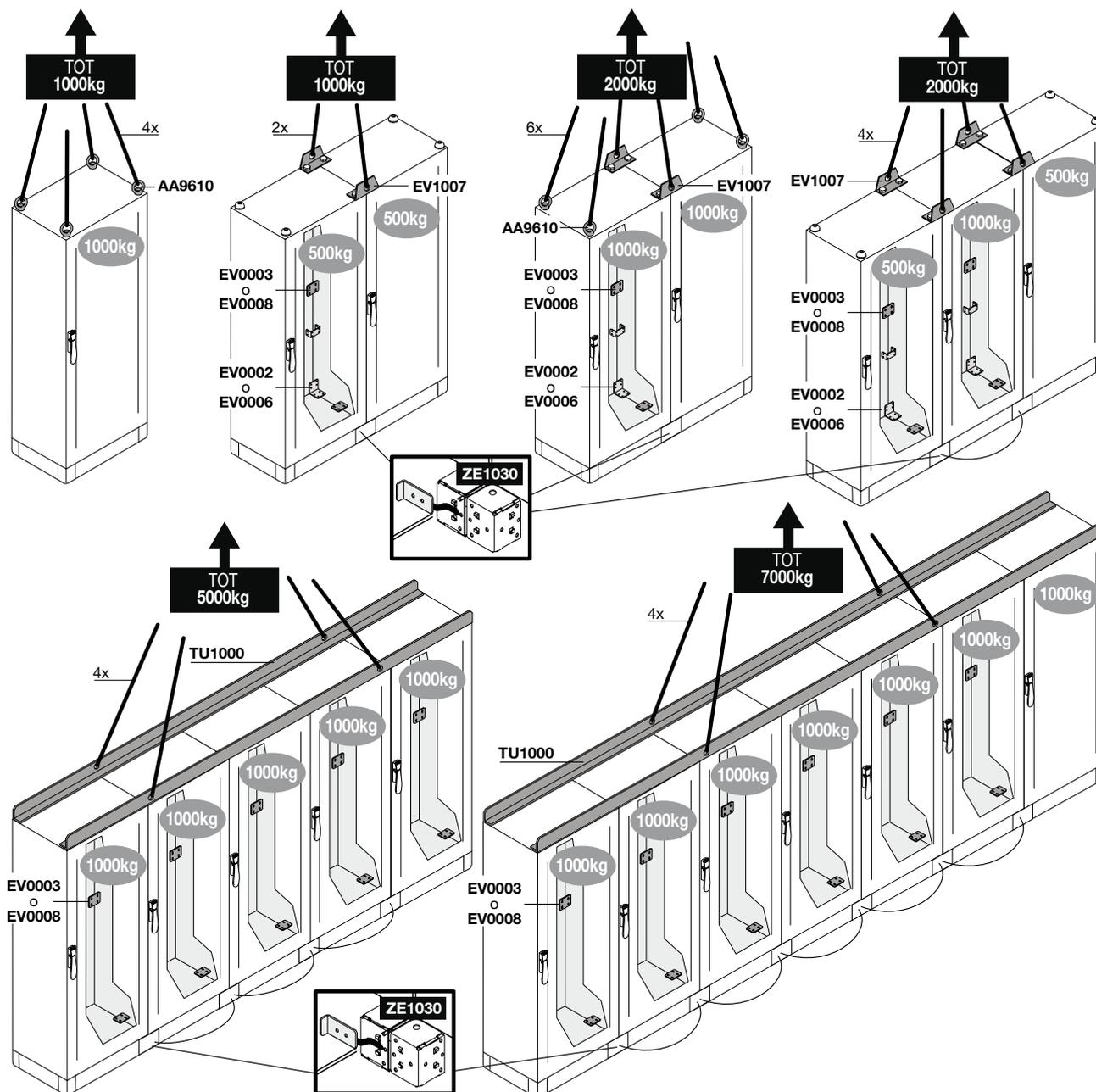
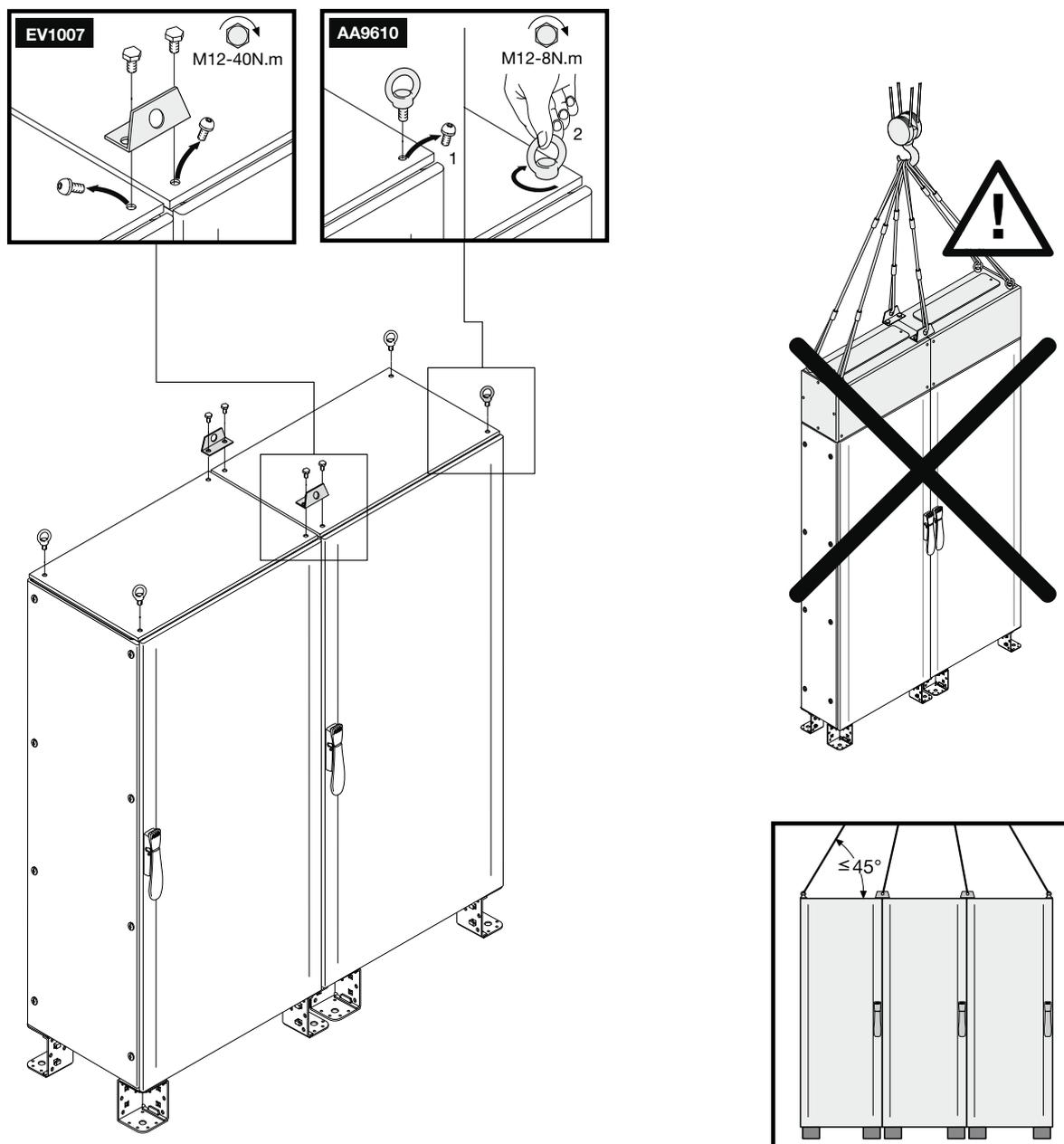
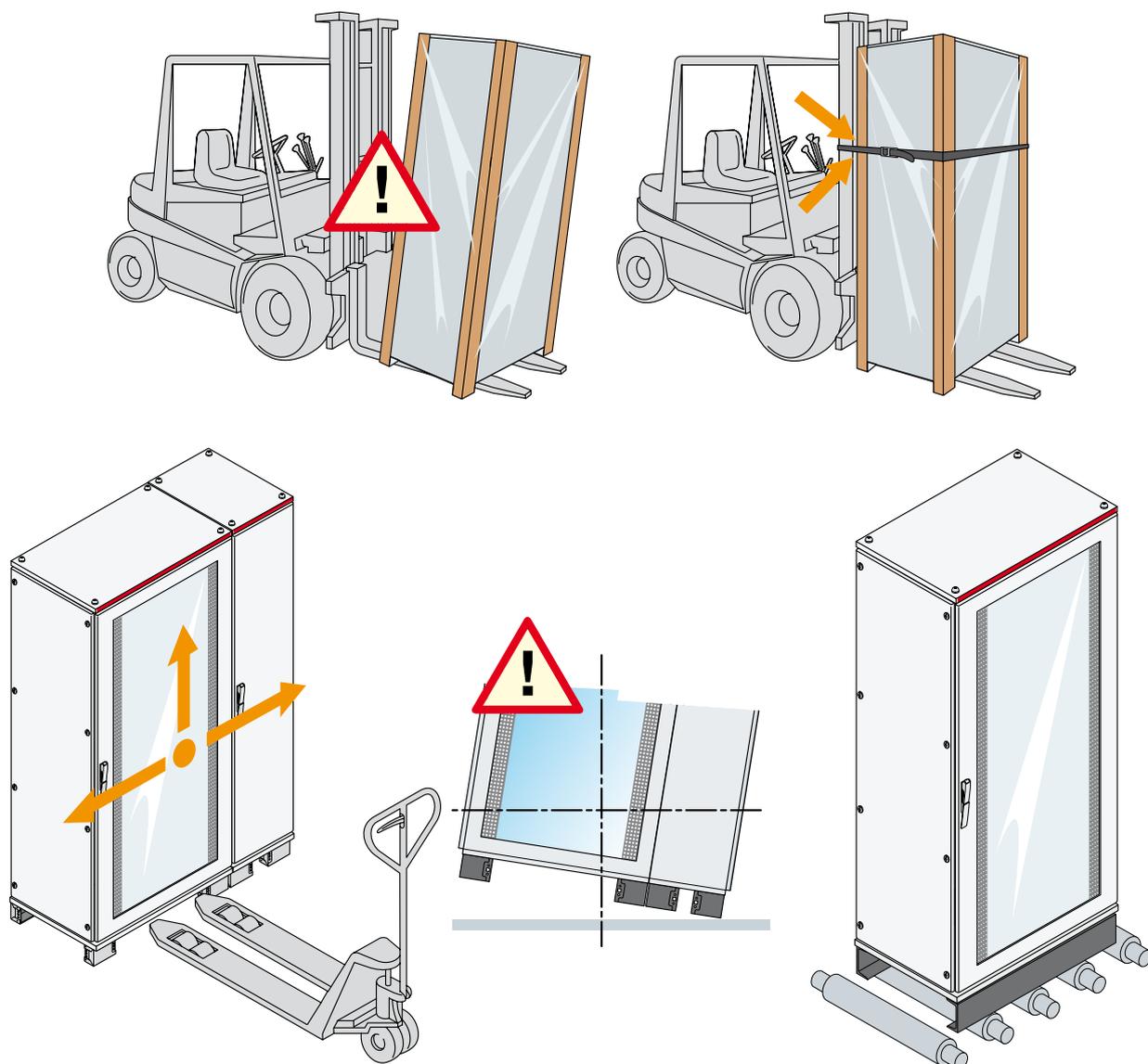
Figura 11.19

netto non è adatto a sopportare l'intero peso del quadro sottostante.
Deve perciò essere montato dopo aver sollevato il quadro (come indicato nella figura 11.20) e averlo posizionato in loco. Nell'accoppiamento di più scomparti emerge la necessità di rispettare le massime portate statiche sia per garantire un'adeguata tenuta alle vibrazioni sia per consentire un corretto sollevamento e trasporto sul luogo finale di destinazione.
Solitamente i valori massimi consentiti sono più che sufficienti a soddisfare anche lo stipamento più gravoso, senza particolari accorgimenti.
In figura 11.19 sono riportati alcuni allestimenti anche di grandi dimensioni e pesi. Si nota che ciascun armadio può avere caricabilità, in peso, diverse e per ciascuna di queste configurazioni sono prescritti i relativi modi di ammarraggio, di tiraggio delle funi e di sollevamento.
Nella nuova norma CEI EN 61439-1 è stata prevista una specifica prova di verifica del sollevamento da eseguire in laboratorio.

Figura 11.20

Il quadro cablato e montato deve essere movimentato in sicurezza e con comodità, sia in uscita dall'officina del quadrista costruttore che in entrata dello stabile dove sarà installato.

A causa delle dimensioni e dei pesi, relativamente elevati, è bene seguire, a tal fine, opportune procedure e usare strumenti meccanici appositamente previsti, nonché porre particolare perizia durante gli spostamenti, al fine di controllare e ridurre al minimo gli sbilanciamenti, le vibrazioni, gli urti e i rischi di ribaltamento del quadro.

Il sistema ArTu è stato specificatamente studiato per minimizzare tali inconvenienti.
Gli spessori calibrati degli appoggi alla base delle carpenterie permettono un agevole inserimento delle forche dei muletti per il sollevamento, che dovrà poi essere seguito da un doveroso bloccaggio in verticale del quadro agli stessi fianchi della forca della macchina (vedi figura 11.21).
L'assenza di sporgenze e di spigoli taglienti evita ogni ulteriore rischio di lesioni o contusioni al corpo degli operatori.

Figura 11.21

11.8 Interventi successivi sul quadro elettrico in esercizio

Durante la normale gestione e il normale impiego del quadro, definitivamente posizionato e in esercizio nell'impianto o a bordo macchina, possono essere necessari interventi, anche invasivi, sul quadro, dovuti a guasti, al normale invecchiamento dei componenti, a modifiche o ampliamenti di processo e altro ancora.
Per tali necessità si può accedere al quadro per:

- *ispezioni e operazioni similari:*
  - ispezione a vista;
  - ispezione dei dispositivi di manovra e protezione;
  - regolazione di relè e sganciatori;
  - collegamenti e contrassegni di conduttori;
  - regolazione e ripristino;
  - sostituzione di fusibili;
  - sostituzione lampade di segnalazione;
  - misure (di tensione e di corrente, con strumenti idonei);
- *manutenzione (anche su accordo tra costruttore-quadrista e utilizzatore-committente);*
- *lavori di ampliamento fuori e sotto tensione (Norme CEI 11-27, 11-48 e relative varianti).*

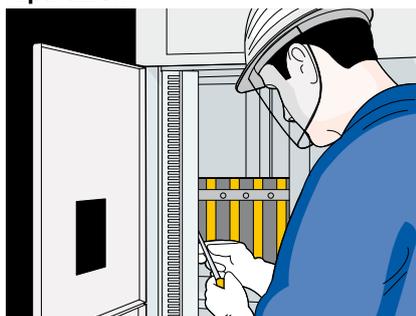
A tal proposito si ricorda che le attuali norme CEI distinguono gli interventi di normale routine, quando ci si limita a manovre e comandi, dagli interventi di vero e proprio lavoro elettrico, quando l'operatore opera direttamente o in vicinanza di parti attive (fuori o sotto tensione) con conseguente rischio di folgorazione.

L'immagine allegata visualizza alcuni esempi dell'una e dell'altra delle suddette situazioni.

Dalle definizioni viste si capisce che, così come ABB SACE durante l'intero processo di fabbricazione degli interruttori, delle carpenterie e di altre parti ausiliarie, anche il quadrista costruttore del quadro, non svolge alcun lavoro elettrico. Infatti, in tali condizioni si manipolano parti metalliche ed isolanti che non sono ancora state alimentate; per cui, mancando il rischio di folgorazione, per definizione non si tratta di lavoro elettrico.

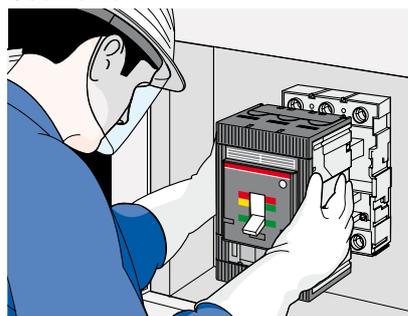
Figura 11.22

Sono lavori elettrici

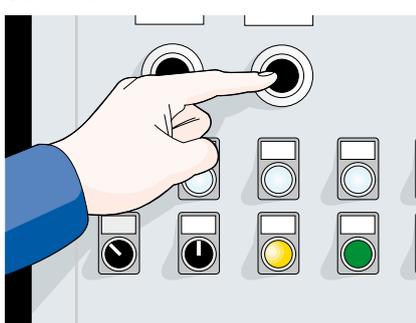
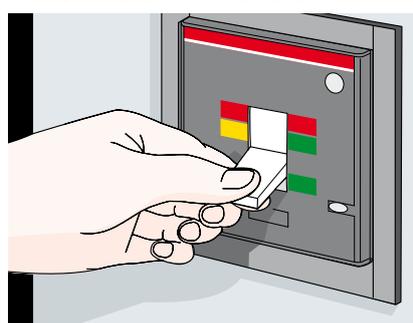
Riparazioni

Quadro in tensione

Sostituzioni

Lavoro fuori tensione fatto secondo le procedure della CEI 11-27

Sostituzioni

Quadro in tensione

Non sono lavori elettrici

Comandi

Manovra di un interruttore

Regolazioni

12 Guida alla certificazione del quadro elettrico

12.1 La conformità normativa del quadro elettrico

ABB offre un sistema di quadri, sottoposto a una serie di prove, che permette di realizzare quadri a norma CEI, senza effettuare ulteriori prove di laboratorio ma solamente le verifiche individuali (collaudo del quadro). Per ottenere ciò è necessario utilizzare le carpenterie (con i relativi accessori), gli interruttori (modulari, scatolati e aperti), i sistemi di distribuzione ABB SACE e rispettare i criteri di scelta e le istruzioni di montaggio dei vari componenti.

Riassumiamo le verifiche previste dalla CEI EN 61439 a carico del costruttore originale e quelle aggiuntive a carico del costruttore finale del quadro.
Il primo (costruttore originale) effettua le verifiche di progetto (ex prove di tipo) che sono:
- Robustezza dei materiali e di parti del quadro;
- Grado di protezione IP del quadro;
- Distanze d'isolamento (in aria e superficiali);
- Protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione;
- Installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti;
- Circuiti elettrici interni e collegamenti;
- Terminali per conduttori esterni;
- Proprietà dielettriche (tensione di tenuta a 50 Hz e tensione di tenuta a impulso);
- Verifica dei limiti di sovratemperatura;
- Tenuta al cortocircuito;
- Compatibilità elettromagnetica (EMC);
- Funzionamento meccanico.

Come visto, in alternativa o in aggiunta, il costruttore originale deriva il quadro attraverso le "regole di progetto" o a mezzo calcoli che applicano determinati algoritmi e/o sfruttano principi fisici.
Al secondo, il costruttore del quadro, restano le verifiche individuali (collaudo), che comprendono alcuni esami a vista e l'unica prova effettiva e strumentale, che è la verifica dielettrica.
- Proprietà dielettriche (tensione di tenuta a 50 Hz e tensione di tenuta a impulso).

12.2 Principali verifiche a cura del costruttore originale

Verifica dei limiti di sovratemperatura
Ricordiamo che, dal punto di vista della verifica dei limiti di sovratemperatura, è possibile certificare il quadro
1) attraverso prove con corrente in laboratorio, oppure
2) sfruttando opportune regole di progetto, oppure
3) con algoritmi di calcolo della sovratemperatura
(per i dettagli consultare il Capitolo 7).

Verifica delle proprietà dielettriche
Come specificato dalla norma, non è richiesta l'esecuzione di questa prova di tipo sulle parti del quadro che hanno già subito una prova di tipo conforme alle Norme corrispondenti, se la tenuta dielettrica non è compromessa durante il montaggio.

Per quanto riguarda i Quadri ABB le proprietà dielettriche sono riportate nella tabella 12.1.

Queste proprietà sono da ritenere già verificate, a patto che vengano seguite in maniera corretta le istruzioni di montaggio.

Tabella 12.1

		Tensione nominale	Tensione di isolamento	Tensione nominale di tenuta ad impulso
ArTu L	Parete P = 200 mm	fino 1000V CA/1500V CC	fino 1000V CA/1500V CC	fino a 6 kV
	Pavimento P = 250 mm	fino 1000V CA/1500V CC	fino 1000V CA/1500V CC	fino a 8 kV
ArTu M	Parete P = 150/200 mm	fino 1000V CA/1500V CC	fino 1000V CA/1500V CC	fino a 6 kV
	Pavimento P = 250 mm	fino 1000V CA/1500V CC	fino 1000V CA/1500V CC	fino a 8 kV
ArTu K		fino 1000V CA/1500V CC	fino 1000V CA/1500V CC	fino a 12 kV
Casse SR2		fino 1000V CA/1500V CC	fino 1000V CA/1500V CC	fino a 6 kV
Quadri AM2		fino 1000V CA/1500V CC	fino 1000V CA/1500V CC	fino a 8 kV
Armadi IS2		fino 1000V CA/1500V CC	fino 1000V CA/1500V CC	fino a 12 kV

Verifica della tenuta al cortocircuito

Alla tenuta al cortocircuito è dedicato il capitolo 8 del presente quaderno tecnico.
Come specificato dalla norma, non è necessaria la verifica della tenuta al cortocircuito:

1. quando la verifica risulta non necessaria consultando i diagrammi di flusso del paragrafo 8.1;
2. per i circuiti ausiliari del quadro previsti per essere collegati a trasformatori la cui potenza nominale non superi i 10 kVA con una tensione nominale secondaria che non sia inferiore a 110 V, oppure non superi 1,6 kVA con una tensione nominale secondaria inferiore a 110 V, e la cui tensione di cortocircuito in entrambi i casi non sia inferiore al 4%;
3. per tutte le diverse parti dell'apparecchiatura che sono già state soggette a prove di tipo valevoli per le condizioni di posa esistenti.

In particolare, per i sistemi di distribuzione (vedi catalogo generale quadri di distribuzione) la tenuta al cortocircuito è verificata dall'esito positivo dei diagrammi di flusso al paragrafo 8.3 e dalla corretta esecuzione delle istruzioni di montaggio.

Per le diverse tipologie di quadro sono da considerare verificate le seguenti caratteristiche:

Tabella 12.2

		Corrente nominale di breve durata Icw		
		fase-fase	fase-neutro	Corrente nominale di picco I_{pk}
ArTu L	Parete P = 200 mm	25 kA (1s)	9 kA (1s)	52.5 kA
	Pavimento P = 250 mm	25 kA (1s)	21 kA (1s)	74 kA
ArTu M	Parete P = 150/200 mm	25 kA (1s)	9 kA (1s)	52.5 kA
	Pavimento P = 250 mm	35 kA (1s)	21 kA (1s)	74 kA
ArTu K		105 kA (1s) - 50 kA (3s)	60 kA (1s)	254 kA
Armadi IS2		65 kA (1s)	39 kA (1s)	143 kA

Verifica della tenuta al cortocircuito del circuito di protezione

Tabella 12.3

Verifica dell'effettiva connessione delle masse del quadro e del circuito di protezione	Rispettando le indicazioni di montaggio dei componenti metallici è verificata l'effettiva continuità elettrica tra le masse, con valori di resistenza trascurabili.
Tenuta al cortocircuito del circuito di protezione: fase-barra di terra	Rispettando le indicazioni di montaggio e le indicazioni di pag.78 e 79 della presente guida è verificata la tenuta al cortocircuito del circuito di protezione.

Massima tenuta al corto fase-barra di terra per struttura		
ArTu L	Parete P = 200 mm	9 kA (1s)
	Pavimento P = 250 mm	21 kA (1s)
ArTu M	Parete P = 150/200 mm	9 kA (1s)
	Pavimento P = 250 mm	21 kA (1s)
ArTu K		60 kA (1s)
Armadi IS2		39 kA (1s)

Verifica delle distanze d'isolamento

Rispettando le istruzioni di assiemaggio e montaggio delle carpenterie e degli interruttori ABB SACE, sono garantite le distanze d'isolamento.

Verifica del funzionamento meccanico

Attenendosi alle istruzioni di montaggio delle carpenterie e degli interruttori ABB SACE, il funzionamento meccanico è verificato.

Verifica del grado di protezione

Attenendosi alle istruzioni di montaggio delle carpenterie e degli interruttori ABB SACE sono verificati i seguenti gradi di protezione:

Tabella 12.4

		Senza porta	Con porta e pannelli laterali areati	Senza porta con kit IP41	Con porta
ArTu L	Parete P = 200 mm	IP 31	-	-	IP 43
	Pavimento P = 250 mm	IP 31	-	-	IP 43
ArTu M	Parete P = 150/200 mm	-	-	-	IP 65
	Pavimento P = 250 mm	IP31	-	-	IP 65
ArTu K		IP 31	IP 41	IP 41	IP 65
Casse SR2		-	-	-	IP 65
Quadri AM2		-	-	-	IP 65
Armadi IS2		-	-	-	IP 65

12.3 Verifiche individuali (collaudo) a cura del costruttore del quadro

Le verifiche individuali, talvolta chiamate collaudo del quadro, prescritte e definite dalla norma CEI EN 61439-1, devono essere effettuate su tutti i quadri, a cura del costruttore finale, al termine dell'assemblaggio e del cablaggio del quadro.
Lo scopo di queste prove è di verificare eventuali difetti inerenti ai materiali o difetti di fabbricazione dei componenti e/o dell'assemblaggio del quadro.
Il buon esito delle verifiche individuali permette di redigere un rapporto di prova (verbale di collaudo) favorevole.

Procedura e modalità di esecuzione delle verifiche individuali

Il costruttore del quadro può formalizzare una procedura per quanto concerne:

- le condizioni di prova (personale addestrato, zona dell'officina destinata al collaudo, ecc.) e le misure di sicurezza;
- i documenti di riferimento (dossier tecnici, istruzioni per il montaggio, norme tecniche, ecc.);
- l'identificazione del materiale e controlli a vista, controlli meccanici ed elettrici;
- le prove dielettriche;
- la verifica dei mezzi di protezione e la verifica della continuità del circuito di protezione;
- la misura della resistenza di isolamento in alternativa alla prova dielettrica;
- la documentazione finale (rapporto di prova).

É importante sottolineare comunque che, pur essendo le verifiche individuali effettuate per norma nell'officina del costruttore del quadro o del quadrista/assemblatore, l'installatore non è esonerato dall'obbligo di accertarsi che il quadro dopo il trasporto e l'installazione non abbia subito danni o modifiche tali da non rispondere più ai requisiti già verificati durante le prove individuali.

Condizioni di prova e misure di sicurezza

All'interno dell'officina si raccomanda che i quadri pronti per le prove individuali siano posizionati in aree separate ove solo il personale qualificato può avere libero accesso.
Se ciò non fosse possibile, ad esempio per ragioni di spazio, la zona delle prove va delimitata da transenne, cartelli o barriere visibili.
Naturalmente le verifiche possono iniziare soltanto quando il montaggio è stato portato a termine.

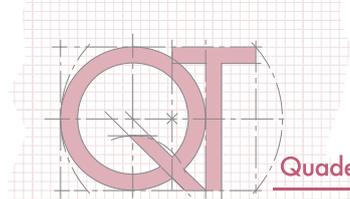
Si raccomanda durante la verifica delle proprietà dielettriche, ad esempio nella prova di tensione applicata, di indossare i guanti isolanti in dotazione e utilizzare appositi puntali del tipo a pistola con punte retrattili. Il corpo e le braccia dell'operatore dovrebbero essere opportunamente protetti, salvo che si applichi tensione ad una adeguata distanza di sicurezza.

Di seguito si riportano alcune regole per effettuare le prove individuali in sicurezza.

Prima delle prove:

- posizionare il quadro in una zona adeguata;
- installare correttamente le barriere di protezione;
- effettuare correttamente i collegamenti di alimentazione al quadro (terra e alimentazione);
- effettuare i collegamenti annessi con gli stessi principi (interconnessione tra masse e collegamenti a terra);
- assicurarsi che i dispositivi di sicurezza utilizzati siano perfettamente funzionanti; (ad es. il pulsante di emergenza, i lampeggianti di segnalazione del pericolo, ecc.);
- assicurarsi che non siano presenti persone non autorizzate all'interno della zona riservata per le prove.

Durante le prove:

- in caso di sospensione anche temporanea delle prove, è necessario mettere fuori tensione l'apparecchiatura in prova;
- per le verifiche o misure elettriche sotto tensione è necessario che la persona preposta sia cosciente del pericolo, che gli strumenti di misura utilizzati rispondano ai requisiti di sicurezza e che siano utilizzati dispositivi di protezione adeguati (ad esempio guanti isolanti ecc.);
- non bisogna lasciare i cavi o la strumentazione elettrica al di fuori della zona di prova delimitata.

Documenti di riferimento
Gli elementi specifici del quadro da provare, ai quali il collaudatore può opportunamente riferirsi, sono gli schemi (unifilari, funzionali, sinottici, ecc.), i disegni (fronte quadro, ingombri, ecc.) e le specifiche particolari ricevute col quadro.
Il verificatore, oltre che all'ultima edizione delle norme tecniche alle quali il quadro è dichiarato conforme, può anche riferirsi alle norme CEI EN 60529 (gradi di protezione degli involucri), alla norma CEI 28-6 (regole per il coordinamento degli isolamenti).

12.4 Le verifiche individuali secondo le CEI EN 61439

Rappresentano l'ultimo intervento tecnico del quadrista prima della consegna del quadro finito e della relativa fatturazione e spedizione al committente. La norma le descrive in quest'ordine.

- **Grado di protezione IP dell'involucro**
  Rappresenta la prima prova individuale prevista dalla norma CEI EN 61439-1.
  Essa si riduce di fatto ad un esame a vista.

- **Distanze d'isolamento in aria e superficiali**
  Normalmente le distanze d'isolamento superficiali sono, già a vista, abbondantemente superiori al necessario.
  Per le distanze d'isolamento in aria si consultano i valori definiti dalla norma (riportati nella Tabella 9.6, al paragrafo 9.2 di questo quaderno tecnico); per ulteriori dettagli si veda, al paragrafo 12.6 "Verifica individuale della tenuta a impulso".

- **Protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione**
  È basata su un esame a vista e su alcune verifiche a campione dei serraggi meccanici .
  La buona realizzazione del circuito di protezione viene accertata:
  - visivamente (ad es. si accerta la presenza di dispositivi che assicurino il contatto ai fini della continuità del conduttore di terra, ecc.);
  - meccanicamente (controllo dei serraggi delle connessioni, a campione);
  - elettricamente (verifica della continuità del circuito).

  Gli strumenti utilizzati sono un tester e una chiave dinamometrica.

- **Installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti**
  Si verifica l'effettiva corrispondenza tra gli apparecchi installati e quelli previsti nel progetto del quadro.

- **Circuiti elettrici interni e collegamenti**
  Si richiede la verifica a campione del serraggio dei morsetti.

- **Terminali per conduttori esterni**
  Si controlla la corrispondenza tra cavi e morsetti come da schema di cablaggio.

- **Funzionamento meccanico**
  Si azionano a campione leve e pulsanti ed eventuali automatismi di manovra.

- **Proprietà dielettriche**
  Vedi il paragrafo 12.6.

- **Cablaggio e funzionamento**
  Si controlla la targhetta e, se necessario, si prova il funzionamento elettrico e gli eventuali interblocchi di sicurezza.

12.5 Approfondimenti in sede di collaudo

Ulteriori approfondimenti in sede di collaudo possono essere:

Controlli a vista

Si effettuano visivamente tenendo presente:

a) la conformità del quadro rispetto agli schemi, nomenclature, disegni e tipo degli scomparti, il numero e caratteristiche degli apparecchi, la sezione dei conduttori e la presenza di identificazioni su cavi ed apparecchi (siglature, dicitura delle targhe, ecc.);
b) la presenza dei componenti che permettono di garantire il grado di protezione (tetti, guarnizioni) e l'assenza di difetti sul contenitore (tagli, forature che rischierebbero di compromettere il grado di protezione);
c) la rispondenza alle prescrizioni specifiche, ove richieste dalla distinta di montaggio, come ad esempio:
   - il rivestimento o trattamento delle sbarre (resinatura, argentatura, ecc.);
   - il tipo di cavo (antifiamma, ecologico, ecc.);
   - il materiale sciolto di completamento;
   - il controllo della verniciatura (colore, spessore, ecc.).

Controlli meccanici

Devono essere eseguiti secondo i documenti a corredo, con riferimento alle seguenti specifiche:

- corretto montaggio delle apparecchiature (sistemazione dei collegamenti e, a caso, esatto serraggio delle connessioni);
- posizionamento e chiusura delle bullonerie;
- blocchi e comandi meccanici (dispositivi di blocco inserzione, interblocchi meccanici, interblocchi con chiave e comandi manuali di traslazione degli interruttori di manovra e dei sezionatori utilizzando le leve e gli accessori di comando in dotazione al quadro);
- chiusura ed eventuali blocchi delle porte ed eventuali aderenze delle guarnizioni antipolvere alla struttura del quadro.

Controlli elettrici

Le prove funzionali consistono nel verificare il corretto funzionamento di tutti i circuiti (elettrici ed elettromeccanici) simulando, per quanto possibile, le varie condizioni di esercizio dei quadri.

Ad esempio, le prove sui circuiti amperometrici e voltmetrici possono essere eseguite alimentando i circuiti secondari dei TA e TV, senza necessariamente sconnettere i TA dal circuito.
I controlli elettrici possono comprendere la verifica del corretto funzionamento dei circuiti e degli apparecchi ed in particolare:

- circuiti di comando, segnalazione, allarme, intervento, richiusura;
- circuiti d'illuminazione e riscaldamento, ove esistano;
- circuiti di protezione e misura (relè di max corrente, di tensione, di terra, differenziali, contattori, amperometri, voltmetri, ecc.);
- morsetti e contatti disponibili in morsettiera;
- dispositivi di sorveglianza dell'isolamento (si devono anche verificare le distanze di isolamento e le linee di fuga a livello dei collegamenti e adattamenti realizzati in officina).

Per eseguire i controlli, oltre ai normali attrezzi meccanici, utilizzati per l'assemblaggio, sono necessari strumenti elettrici. Si raccomanda una taratura periodica per ottenere dei risultati affidabili. Gli strumenti generalmente usati sono:

- un tester o multimetro;
- il banco di prova (in AC e in DC che alimenti il quadro nella prova di funzionamento sotto tensione;
- la chiave dinamometrica (per controllare che siano state applicate le giuste coppie di serraggio sulle connessioni) e utensili vari.

12.6 Approfondimento sulla verifica individuale dell'isolamento

Le prove dielettriche servono a verificare l'isolamento, la bontà dei materiali isolanti e la corretta esecuzione dei collegamenti dell'apparecchiatura in prova.
Durante il collaudo, per quadri oltre 250 A, si applica, per un secondo, la tensione di prova alla frequenza di 50 Hz, alle diverse polarità e con il valore efficace definito dalla norma (vedi le Tabelle 9.1 e 9.2 al paragrafo 9.1 del quaderno tecnico); si ricorda che per 690 V< Ui ≤ 800 V il valore della tensione di prova è 2000 V.

Non si richiedono queste prove sui circuiti ausiliari protetti da apparecchi con In fino a 16 A o che hanno già superato la prova di funzionamento elettrico.

Verifica individuale con prova di tensione applicata
Sezionato a monte e a valle il quadro, si applica la tensione di prova con tutti gli apparecchi di protezione e manovra chiusi, oppure la tensione di prova deve essere applicata successivamente ai diversi circuiti del quadro.
Per questa prova si può utilizzare un generatore di tensione a frequenza industriale (dielettrometro).
La prova è superata se durante l'applicazione della tensione non si verificano né perforazioni né scariche superficiali.
Bisogna scollegare tutti gli apparecchi che assorbono corrente e per i quali l'applicazione delle tensioni di prova provocherebbe un danneggiamento (avvolgimenti, alimentatori, strumenti di misura, moduli di misura, interruttori differenziali elettronici, ecc.).

In particolare per i dispositivi ABB SACE valgono le seguenti indicazioni:

Tabella 12.5

Differenziali

Interruttore	Differenziale	Operazione da compiere
Tmax T1-T2-T3	RC221	Ruotare l'apposito selettore, posto sul fronte del relè, nella posizione di Test. Disconnettere la bobina YO2.
Tmax T1-T2-T3 - T4-T5 (solo 4P)	RC222	Ruotare l'apposito selettore, posto sul fronte del relè, nella posizione di Test. Disconnettere la bobina YO2
Tmax T3 e T4 (solo 4P)	RC223	Ruotare l'apposito selettore, posto sul fronte del relè, nella posizione di Test. Disconnettere la bobina YO2
Tmax T1..T7	RCQ-RCQ020/A (corrente nominale fino a 800 A)	Disconnetterlo manualmente
Emax X1 (corrente nominale fino a 800 A)	RCQ020/A	Disconnetterlo manualmente
Emax E1..E3 (corrente nominale fino a 2000A)	RCQ	Disconnetterlo manualmente

Sganciatori elettronici

Interruttore	Sganciatore	
Tmax T2-T4-T5-T6	PR221-PR222DS/P	Nessuna operazione
	PR222DS/PD-PR223DS e EF	Disconnettere, se presenti, i connettori posteriori X3 e X4
Tmax T7 Esecuzione fissa	PR231-PR232	Nessuna operazione
	PR331	Disconnettere, se presenti, i cablaggi relativi a: T5, T6, K1, K2, W3, W4, 98S, 95S
	PR332	Disconnettere, se presenti, i cablaggi relativi a: T5, T6, T7, T8, T9, T10, K1, K2, K11, K12, K13, K14, K15, K21, 98S, 95S, W1, W2, W3, W4, C1, C2, C3, C11, C12, C13.
Tmax T7 Esecuzione estraibile	PR231-PR232 PR331-PR332	Portare l'interruttore in posizione di estratto
Emax X1 Esecuzione fissa	PR331	Disconnettere, se presenti, i cablaggi relativi a: T5, T6, K1, K2, W3, W4, 98S, 95S
	PR332-PR333	Disconnettere, se presenti, i cablaggi relativi a: T5, T6, T7, T8, T9, T10, K1, K2, K11, K12, K13, K14, K15, K21, 98S, 95S, W1, W2, W3, W4, C1, C2, C3, C11, C12, C13.
Emax X1 Esecuzione estraibile	PR331-PR332-PR333	Portare l'interruttore in posizione di estratto
Emax E1-E6 Esecuzione fissa	PR121	Disconnettere, se presenti i cablaggi relativi a: T5, T6, K1, K2, W3, W4
	PR122-PR123	Disconnettere, se presenti, i cablaggi relativi a: T5, T6, T7, T8, K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11, K12, K13, K14, K15, W1, W2, W3, W4, C1, C2, C3, C11, C12, C13, D1, D2, D13, D14, R1, R2, 37, 38.
Emax E1-E6 Esecuzione estraibile	PR121-PR122-PR123	Portare l'interruttore in posizione di estratto

Moduli di misura

Interruttore e sganciatore	Modulo di misura	Operazione da compiere
Emax con PR122 o PR123 Esecuzione fissa	PR120/V	Ruotare il selettore sulla posizione indicata con "Insulating Test".
Emax X1 con PR332 o PR333 Tmax T7 con PR332 Esecuzione fissa	PR330/V	Posizionare il selettore nella posizione di Test indicata con "Insulating Test".

Si devono inoltre disconnettere tutti gli accessori degli interruttori connessi direttamente alla rete (bobine di minima tensione, bobine di apertura, bobine di chiusura, moduli di misura, comandi a motore ecc.)
Per ulteriori dettagli e approfondimenti sulle indicazioni e le operazioni da compiere, per i dispositivi e gli accessori ABB Sace, fare riferimento ai rispettivi manuali tecnici di prodotto.

Verifica individuale della resistenza d'isolamento
In conformità con la norma CEI EN 61439-1, in alternativa alla prova di tensione applicata, limitatamente ai quadri fino a 250 A, è sufficiente la misura di un'opportuna resistenza elettrica d'isolamento.
La prova si effettua applicando tra i circuiti e la massa, una tensione di 500 V e l'esito è positivo se, per ciascun circuito provato, la resistenza d'isolamento è superiore di 1000 ohm/V, riferiti alla tensione nominale verso terra per ciascun circuito. Anche in questo caso, le apparecchiature che assorbono corrente devono essere scollegate.
Per la prova può essere utilizzato un apparecchio di misura di resistenza (megaohmmetro o megger).

Verifica individuale della tenuta a impulso
In sede di collaudo tale verifica si effettua confrontando le effettive distanze di isolamento in aria, tra le parti attive e tra le parti attive e la massa, con le minime distanze d'isolamento definite dalla norma:
- se le distanze effettive superano di oltre 1,5 volte le distanze minime definite dalla norma, in corrispondenza dell'Uimp prevista, è sufficiente l'esame a vista;
- se le distanze effettive presentano valori compresi tra 1 e 1,5 volte le distanze minime definite dalla norma è sufficiente una misura calibrata;
- se si verifica un mancato rispetto delle distanze minime definite dalla norma, si deve rifare un'ulteriore prova all'impulso.

12.7 Documentazione finale e termine delle prove

A tutt'oggi in Italia non è codificata giuridicamente la figura specifica del quadrista elettrico.
Come per ABB SACE egli è un generico costruttore di manufatti, che deve realizzare a regola d'arte, targhettare, marcare CE (solo in Europa) e infine fatturare e vendere a un committente.

La conformità alle norme tecniche (CEI EN 61439) non è obbligatoria ma è una dichiarazione di conformità, è cioè una condizione sufficiente ma non necessaria alla regola d'arte.
Il presente quaderno tecnico si fonda sulle norme e perciò propone soluzioni a regola d'arte.
Ai fini puramente giuridici, il costruttore fornitore del quadro deve obbligatoriamente:
- realizzarlo a regola d'arte;
- targhettarlo e marcarlo CE (per forniture in Europa) in modo visibile e leggibile;
- allegargli i manuali d'uso e manutenzione dei componenti e del quadro stesso (sono in genere a corredo degli stessi);
- redigerne e conservarne (non fornire se non richiesto) il fascicolo tecnico (Dirett. BT);
- redigerne e consegnarne adeguata fattura al committente.

In aggiunta le norme tecniche CEI EN 61439 richiedono per il quadro:
- il rispetto integrale delle procedure di progetto, montaggio e collaudo descritte nei fascicoli relativi (CEI EN 61439-1 più il o i fascicoli specifici pertinenti il quadro in oggetto);
- l'apposizione di una targhetta più ricca con, oltre al marchio CE, al nome del costruttore e alla matricola, anche l'anno di fabbricazione e la specifica norma tecnica di riferimento;
- in allegato una documentazione tecnica specifica riportante le caratteristiche e le prestazioni nominali e le altre raccomandazioni e indicazioni per un impiego ottimale;

Seppure non espressamente richiesto né dalle leggi né dalle norme, per testimoniare la qualità e la completezza, per il collaudo è utile adottare dei moduli analitici, nei quali compaiano tutte le verifiche, anche di dettaglio. In questo modo si possono stralciare una per volta le varie voci per assicurarsi di avere compiuto tutte le operazioni richieste.

Un esempio di documentazione di collaudo, con riassunte le verifiche previste e, per ognuna di esse, l'esito ottenuto, per un quadro conforme alle CEI EN 61439, è riportato nell'appendice A.

13 Esempio di realizzazione di un quadro ArTu

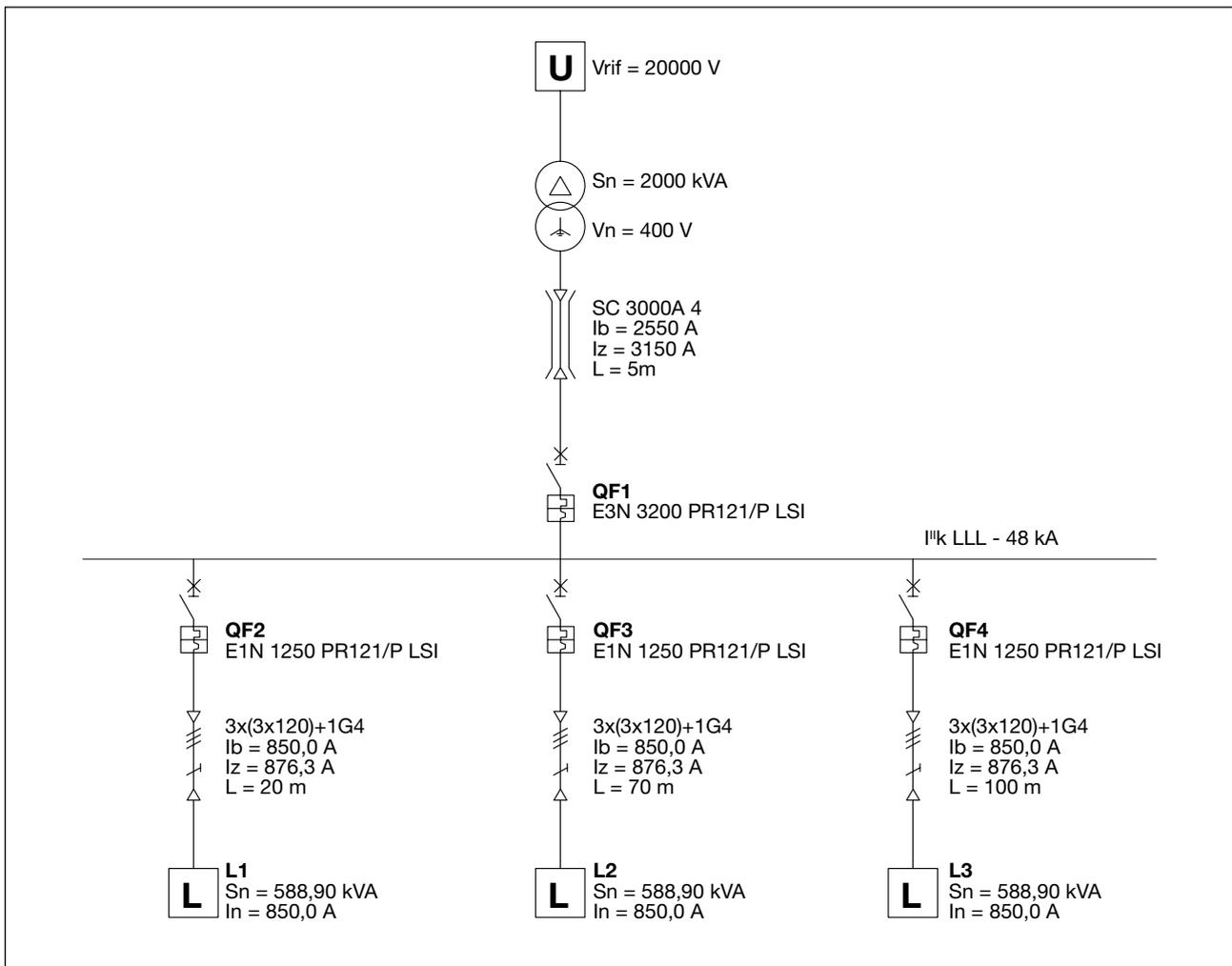
Questo paragrafo ha lo scopo di aiutare il quadrista e il progettista nella realizzazione di un quadro ArTu di ABB SACE.

Per fare ciò si partirà dallo schema unifilare di un impianto per arrivare, attraverso la selezione dei componenti, alla realizzazione del quadro ed alla relativa dichiarazione di conformità alla CEI EN 61439-2.
Caratteristiche del quadro, da capitolato, sono:
- quadro non segregato;
- IP 65;
- esposto a muro.

13.1 Schema unifilare

Supponiamo che venga richiesta la realizzazione di un quadro di distribuzione principale posto subito a valle di un trasformatore MT/BT da 2000kVA. Da questo quadro partono tre linee da 850A che andranno ad alimentare altri quadri di distribuzione dei quali però non ci occupiamo.
Per ragioni di selettività con gli interruttori dei quadri a valle si è scelto di utilizzare interruttori di tipo aperto in derivazione dalle sbarre.
La corrente di cortocircuito alle sbarre di distribuzione principale è pari a 48 kA.

Figura 13.1

U
Vrif = 20000 V
Sn = 2000 kVA
Vn = 400 V
SC 3000A 4
Ib = 2550 A
Iz = 3150 A
L = 5m
QF1
E3N 3200 PR121/P LSI
I'''_k LLL - 48 kA
QF2
E1N 1250 PR121/P LSI
3x(3x120)+1G4
Ib = 850,0 A
Iz = 876,3 A
L = 20 m
L
L1
Sn = 588,90 kVA
In = 850,0 A
QF3
E1N 1250 PR121/P LSI
3x(3x120)+1G4
Ib = 850,0 A
Iz = 876,3 A
L = 70 m
L
L2
Sn = 588,90 kVA
In = 850,0 A
QF4
E1N 1250 PR121/P LSI
3x(3x120)+1G4
Ib = 850,0 A
Iz = 876,3 A
L = 100 m
L
L3
Sn = 588,90 kVA
In = 850,0 A

13.2 Selezione degli interruttori e delle condutture esterne al quadro

Interruttori
Come mostrato nello schema unifilare gli interruttori scelti sono:
1 Emax E3N3200 PR121/P - LSI In 3200 (interruttore generale del quadro QF1);
3 Emax E1N1250 PR121/P - LSI In 1250 (interruttori per le tre partenze QF2, QF3, QF4).

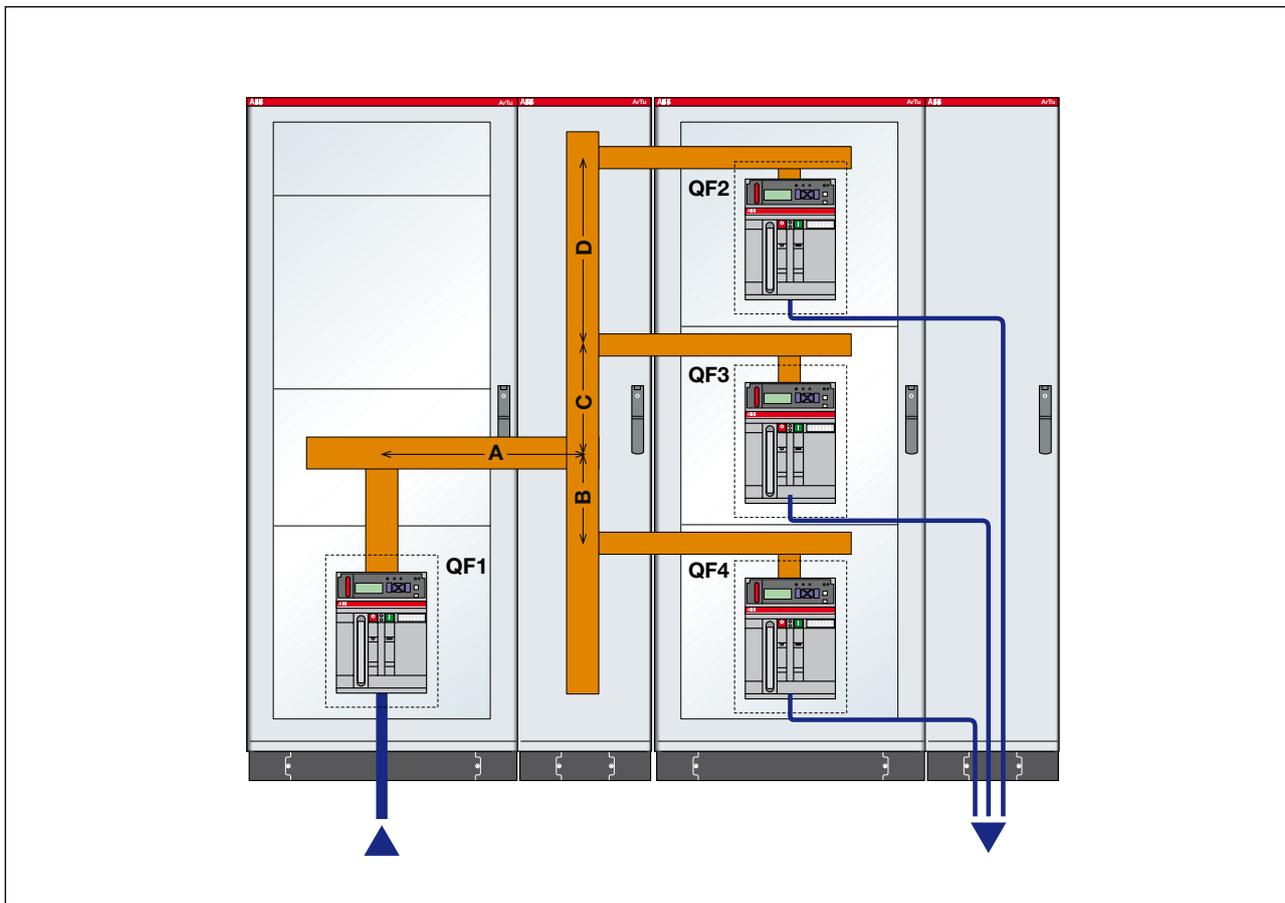
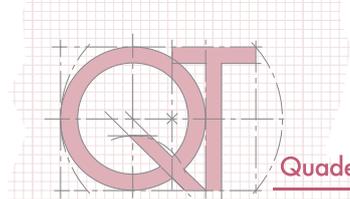
Condutture
In arrivo, proveniente dal trasformatore si ha:
1 Blindosbarra con Iz = 3150 A; L = 5 m
In partenza dal quadro, ipotizzando una posa aerea su passerelle perforate, si hanno:
1 cavo di L = 20m   3x(3x120) Iz = 876,3 A;
1 cavo di L = 70m   3x(3x120) Iz = 876,3 A;
1 cavo di L = 100m   3x(3x120) Iz = 876,3 A.

13.3 Fronte quadro, sistema di distribuzione e carpenteria

Per quanto riguarda il posizionamento degli apparecchi è stato scelto di alloggiare l'interruttore generale in una colonna, e le tre partenze in un'altra.

Provenendo dal basso l'alimentazione è stato deciso di posizionare in basso l'interruttore QF1.
Il quadro è di tipo non segregato.

Una possibile disposizione delle barre e degli interruttori è riportata nella figura seguente:

Figura 13.2

Sistema di distribuzione

Per quanto riguarda le barre interne al quadro, in prima approssimazione, si scelgono in funzione della taglia dell'interruttore:

Sistema barre di distribuzione principale
(interruttore QF1)
(Dal catalogo generale quadri per distribuzione)

BA2000 In=3200 A (IP65) I_{cw} max =100 kA

Per raggiungere una Icw adeguata al valore di corto dell'impianto si devono posizionare:

5 portabarre **PB3201** ad una distanza massima di 425mm (I_{cw} =50 kA)

Essendo in presenza di interruttori aperti non limitatori, la Icw del sistema di distribuzione deve essere maggiore della I_{cp} presunta alle sbarre.

Barre di derivazione degli interruttori
(interruttori QF2, QF3, QF4)
(Dal catalogo generale quadri per distribuzione)

BA1250 In= 1250 A (IP65) I_{cw} max = 75 kA

Per raggiungere una Icw adeguata al valore di corto dell'impianto si devono posizionare:

5 portabarre **PB1601** ad una distanza massima di 425mm (I_{cw} =50 kA).

Tratti di congiunzione tra interruttori e barre
(interruttori QF2, QF3, QF4).
Nella Tabella 11.2 del paragrafo 11.4 del presente quaderno tecnico sono riportate le sezioni delle barre per il collegamento degli interruttori:

E3N32 3200 A Sezione 3x(100x10)
E1N12 1250 A Sezione 1x(80x10)

Si deve inoltre rispettare la massima distanza di ancoraggio del primo setto, riportata al paragrafo 11.3 del presente quaderno tecnico, in funzione dei terminali.

Giunti per barre
Come riportato sul "Catalogo generale quadri per distribuzione" sono necessari i seguenti giunti:

Congiunzione di barra da 3200 a barra da 3200, giunto a T, **AD1073**
Congiunzione di barra da 3200 a barra da 1250, **AD1078**.

Barra di terra
Come indicato a pagina 44 e 45 del presente quaderno tecnico, la barra di terra deve avere una sezione minima pari a 1/4 della sezione delle barre principali. Si è scelta quindi un barra da 50x10.

Carpenteria
Per quanto riguarda la carpenteria si utilizza un quadro della serie ArTu K con porta (IP 65).
Per poter alloggiare gli interruttori, il sistema di barre verticale, e i cavi in uscita si utilizzano:
2 colonne per gli interruttori;
2 vani portacavi, uno per il sistema di barre e uno per i cavi in uscita.

Per una corretta selezione della struttura si consiglia di consultare il "Catalogo generale quadri per distribuzione" dove:
- per alloggiare interruttori Emax E1-E2-E3 è necessario un quadro di profondità 800mm, larghezza 600mm e un kit per l'installazione **KE3215**

Il vano cavi scelto ha ovviamente 800mm di profondità e 300mm di larghezza.

Nel catalogo generale quadri per distribuzione si trovano le traverse di fissaggio per le barre a profilo sagomato:
- per le barre orizzontali da 3200 A (**BA2000**) il tipo di installazione scelto è il numero 5, per cui la scelta corretta è dei due componenti **TV6221** e un **TV8011**.
- per le barre verticali da 3200 A (**BA2000**) il tipo di installazione scelto è il numero 2, per cui la scelta corretta è del componente **TV8101**.
- per le barre orizzontali da 1250 A (**BA1250**) il tipo di installazione scelto è il numero 5, per cui la scelta corretta è dei due componenti **TV6221** e un **TV8011**.

Come specificato nel catalogo generale quadri per distribuzione la struttura deve essere completata con i kit di affiancamento (**AD1014**).

13.4 Conformità alla Norma CEI EN 61439-2

È necessario verificare la conformità del quadro alla norma CEI EN 61439-2.

Verifica termica del quadro

Con riferimento al paragrafo 10.10.3 della CEI EN 61439-1, essendo la configurazione del quadro da realizzare simile a quella di un quadro testato con le prove di laboratorio e, in particolare, avendo:

- lo stesso tipo di costruzione come quello usato per la prova;
- maggiori dimensioni esterne di quelle usate per la prova;
- le stesse condizioni di raffreddamento di quelle usate per la prova (convezione naturale e stesse aperture di ventilazione);
- la stessa forma di segregazione interna di quella usata per la prova;
- minore potenza dissipata nello stesso scomparto di quella usata per la prova;
- lo stesso numero di circuiti di uscita per ogni scomparto

i limiti di sovratemperatura risultano verificati.

La differenza più evidente è nella collocazione dell'interruttore generale QF1.
Nel quadro provato esso si trova nella parte alta del quadro, mentre nel quadro da realizzare si trova nella parte bassa. Non essendoci però altri apparecchi all'interno di questa colonna ed avendo posizionato l'interruttore in una zona più fredda rispetto a quella del quadro provato, si può ritenere che tale variante **non modifichi in modo determinante le prestazioni del quadro** (sempre dal punto di vista termico).

Verifica delle proprietà dielettriche

Le proprietà dielettriche del quadro in esame sono le stesse dichiarate dal sistema ArTu a patto che siano seguite in maniera corretta le istruzioni di montaggio dei singoli componenti.

A tal fine tocca all'assemblatore curare attentamente il posizionamento a regola d'arte di ogni singola parte, fornita sciolta e con i relativi supporti per il fissaggio.
Si ricorda che all'aumentare della forma di segregazione si riducono proporzionalmente gli spazi di montaggio interni e che l'impiego di parti estranee (pezzi metallici fatti su misura, eventuali contenitori o fascette metalliche di blocco) nonché l'inserimento di componenti elettrici con involucri metallici (schede, motorini, video, schermature e altro) possono ridurre o compromettere la tenuta dielettrica del complesso.
Per verificare le specifiche di prodotto ABB SACE ha effettuato le opportune prove di verifica sia in corrente alternata alla frequenza di 50 Hz che all'impulso, ottenendo le seguenti prestazioni:

- Tensione nominale U_n = 400 V;
- Tensione d'isolamento U_i = 1000 V;
- Tensione nominale di tenuta a impulso U_{imp} = 8kV.

Verifica della tenuta al cortocircuito

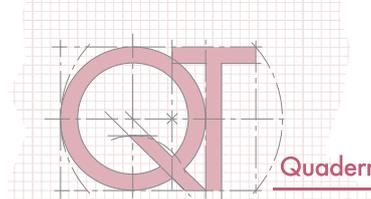
Con le scelte effettuate per le barre e per gli interruttori, e seguendo in maniera corretta le istruzioni di montaggio, la tenuta al cortocircuito è verificata fino al valore dichiarato a catalogo.

Oltre alle distanze di fissaggio tra le barre e tra i relativi portabarre, occorre rispettare correttamente anche i serraggi meccanici tra barre e portabarre, verificando che siano compresi tra il minimo e il massimo richiesti. Si ricorda inoltre di rispettare le massime distanze di cablaggio ammissibili tra il morsetto d'ingresso o uscita degli apparecchi e il primo portabarre; tali distanze sono state esaminate e riportate nelle specifiche tabelle contenute al paragrafo 11.3 del presente documento.
Nel caso in oggetto non si richiedono particolari derivazioni con regole di progetto, giacché risulta sufficiente la tenuta di breve durata dell'allestimento che arriva fino a un valore di I_{cw} pari a: **I_{cw}=50kA**.

Verifica della tenuta al cortocircuito del circuito di protezione

Rispettando le indicazioni di montaggio dei componenti metallici è verificata l'effettiva continuità elettrica tra le masse, con valori di resistenza trascurabili.
Se, come da progetto, si sceglie una sezione della barra di terra applicando la tabella della norma o calcolandola nel rispetto del massimo I^2t dei materiali, si verifica la tenuta al cortocircuito anche del circuito di protezione.

Verifica delle distanze d'isolamento

Rispettando le istruzioni di assiemaggio e montaggio delle carpenterie e degli interruttori ABB SACE, allegate a ciascun prodotto, sono garantite le adeguate distanze d'isolamento.
In ogni caso il collaudo a fine montaggio permetterà di scoprire, e correggere se necessario, eventuali errori di posizione e di distanziamento sia tra le parti attive che verso massa.
Si raccomanda tale controllo soprattutto nel caso di allestimenti in forma tre e quattro.

Verifica del funzionamento meccanico
Si tratta di una delle prove individuali che verificano la correttezza dei collegamenti che alimentano i sistemi di telecomando, regolazione e sicurezza vitali per il quadro, per l'impianto o la macchina.

Attenendosi alle istruzioni di montaggio delle carpenterie e degli interruttori ABB SACE, il funzionamento meccanico è verificato.

Verifica del grado di protezione
Attenendosi alle istruzioni di montaggio delle carpenterie, degli interruttori e delle relative cornici, guarnizioni e passacavi a corredo delle apparecchiature di ABB SACE si può ottenere un grado IP fino a **IP65**.

Verifica della continuità
La norma CEI EN 61439 prescrive di mettere a terra tutte le masse presenti e accessibili del quadro. Durante il collaudo un approfondito esame a vista deve essere compiuto su tali collegamenti, che possono essere imbullonati, saldati o altro.
Da anni il sistema ArTu soddisfa appieno tale esigenza mediante un unico collegamento a massa della carpenteria (in genere lungo uno dei montanti).
Infatti, il semplice fissaggio meccanico tra i pannelli, i coperchi, le targhe, i golfari ecc per mezzo di viti e bulloni, provato appositamente in laboratorio, è considerato più che sufficiente anche ai fini della continuità galvanica verso terra.
In tal modo si superano elegantemente i problemi di corrosione, di contatto, di trasmissione del potenziale zero di sicurezza a tutte le parti pericolose.

Appendice A: moduli per la dichiarazione di conformità e collaudo

DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ
QUADRI ELETTRICI PER BASSA TENSIONE SECONDO CEI EN 61439-2
(CEI EN 61439-2)

La ditta ....

Con sede a ....

Costruttrice del quadro ....

....

Dichiara, sotto la propria responsabilità, che il quadro sopra descritto è stato realizzato a regola d'arte e conformemente a tutte le specifiche previste dalla Norma CEI EN 61439-2.

Dichiara inoltre di avere utilizzato componenti ABB SACE, di avere rispettato i criteri di scelta e le istruzioni di montaggio indicati sui relativi cataloghi e fogli istruzione e di non avere compromesso in alcun modo, durante il montaggio o attraverso modifiche, le prestazioni del materiale utilizzato dichiarate sui già citati cataloghi.
Tali prestazioni e le verifiche effettuate consentono quindi di dichiarare la conformità del quadro in questione alle seguenti richieste della norma:
Richieste di Costruzione:
- Robustezza dei materiali e parti del quadro
- Grado di protezione
- Distanze in aria e superficiali
- Protezione contro la scossa elettrica
- Installazione apparecchi e componenti
- Circuiti elettrici interni e collegamenti
- Terminali per conduttori esterni

Richieste di prestazione
- Proprietà dielettriche
- Sovratemperatura
- Tenuta al cortocircuito
- Compatibilità elettromagnetica (EMC)
- Funzionamento meccanico

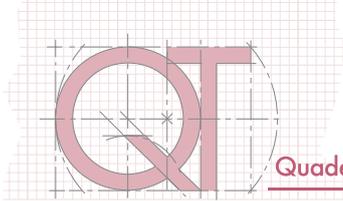
Dichiariamo infine, sotto la nostra responsabilità, di aver effettuato con risultato positivo tutte le prove individuali previste dalla norma e precisamente:
specifiche di costruzione:
- grado di protezione dell'involucro;
- distanze d'isolamento in aria e superficiali;
- protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione;
- installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti;
- circuiti elettrici interni e collegamenti;
- terminali per conduttori esterni;
- funzionamento meccanico.

Specifiche di prestazione:
- proprietà dielettriche;
- cablaggio, prestazioni in condizioni operative e funzionalità.

Data e Luogo ....

....

Firma ....

(nome completo e funzione della persona incaricata di firmare per conto del costruttore)

CERTIFICATO DI COLLAUDO
QUADRI ELETTRICI PER BASSA TENSIONE - SECONDO LE PROVE INDIVIDUALI PREVISTE DALLA NORMA CEI EN 61439-2 (IEC 61439-2)

La ditta ....

Con sede a ....

Costruttrice del quadro ....

....

rilascia il

CERTIFICATO DI COLLAUDO
attestando con il presente documento di aver eseguito tutte le verifiche tecniche previste dalle norme applicabili al prodotto ed in particolare quelle della Norma CEI EN 61439-2 (Classificazione CEI EN 61439-2), nonché di aver adempiuto a tutti gli obblighi giuridici e normativi richiesti dalle vigenti disposizioni.

Data e Luogo.. Firma...

.... (nome completo e funzione della persona incaricata di firmare per conto del costruttore)

DICHIARAZIONE CE DI CONFORMITÀ
QUADRI ELETTRICI PER BASSA TENSIONE SECONDO CEI EN 61439-2
(IEC 61439-2)

La ditta ....

Con sede a ....

Costruttrice del quadro ....

....

Dichiara, sotto la propria responsabilità, che il quadro

tipo ....

n° di serie ....

norma di riferimento CEI EN 61439-2
anno di apposizione della marcatura ....

risulta in conformità con quanto previsto dalle seguenti direttive comunitarie (comprese le ultime modifiche), nonché con la relativa legislazione nazionale di recepimento

Riferimento n°	**Titolo**
La Direttiva 2006/95/CE,	Direttiva bassa tensione
La Direttiva EMC 2004/108/CE	Direttiva compatibilità elettromagnetica [1]
93/68/CEE	Direttiva per la marcatura CE

e che è stata applicata la seguente norma armonizzata

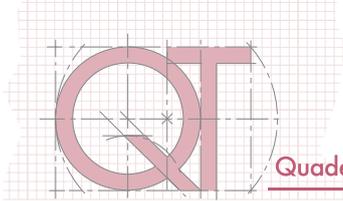
codice norma	**edizione**	**titolo**
CEI EN 61439-1	I	Norma CEI EN 61439-1 Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 1: Regole Generali
CEI EN 61439-2	I	NORMA CEI EN 61439-2 Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione Parte 2: Quadri di potenza

[1] Omettere questa Direttiva nei casi in cui l'accordo con la stessa non è richiesto

Data e Luogo ....

....

Firma ....

(nome completo e funzione della persona incaricata di firmare per conto del costruttore)

CHECK-LIST PROVE INDIVIDUALI

Cliente ....

Impianto ....

Commessa/Quadro: ....

Operazioni di controllo	Verificato	Esito	Operatore
1) Costruzione			
a) grado di protezione dell'involucro			
b) distanze di isolamento in aria e superficiali			
c) protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione			
d) installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti			
e) circuiti elettrici interni e collegamenti			
f) terminali per conduttori esterni			
g) funzionamento meccanico			
2) Prestazione			
a) poprietà dielettriche;			
b) cablaggio, prestazioni in condizioni operative e funzionalità.			

Verifica effettuata:	Durante l'assemblaggio	Dopo l'assemblaggio

RAPPORTO DI PROVA INDIVIDUALE (COLLAUDO)

Cliente ....

Impianto ....

N° d'ordine ....

Tipo e identificazione del quadro

Disegno d'assieme...

Schema funzionale ....

Altri schemi...

Tensione nominale di impiego..

Corrente nominale del circuito d'ingresso...

Prove individuali effettuate secondo la Norma CEI EN 61439-2

	Esito
- grado di protezione dell'involucro;	
- distanze di isolamento in aria e superficiali;	
- protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione;	
- installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti;	
- circuiti elettrici interni e collegamenti;	
- terminali per conduttori esterni;	
- funzionamento meccanico.	
- proprietà dielettriche;	
- cablaggio, prestazioni in condizioni operative e funzionalità.	

Prove effettuate presso ....

Alla presenza del Sig. ....

Il quadro in oggetto, avendo superato le prove sopra elencate, risulta conforme alla Norma CEI EN 61439-2

Quaderni di Applicazione Tecnica

QT1
La selettività in bassa tensione con interruttori ABB

Low voltage selectivity with ABB circuit-breakers

QT2
Cabine MT/BT teoria ed esempi di calcolo

MV/LV trasformer substations: theory and examples of short-circuit calculation

QT3
Sistemi di distribuzione e protezione contro i contatti indiretti ed i guasti di terra

Distribution systems and protection against indirect contact and earth fault

QT4
Gli interruttori ABB nei quadri di bassa tensione

ABB circuit-breakers inside LV switchboards

QT5
Interruttori ABB per applicazioni in corrente continua

ABB circuit-breakers for direct current applications

QT6
Quadri per bassa tensione a tenuta d'arco interno

Arc-proof low voltage switchgear and controlgear assemblies

QT7
Il motore asincrono trifase
Generalità ed offerta ABB per il coordinamento delle protezioni

Three-phase asynchronous motors
Generalities and ABB proposals for the coordination of protective devices

QT8
Rifasamento e filtraggio delle armoniche negli impianti elettrici

Power factor correction and harmonic filtering in electrical plants

QT9
La comunicazione via Bus con gli interruttori ABB

Bus communication with ABB circuit-breakers

QT10
Impianti fotovoltaici

Photovoltaic plants

QT11
Guida alla realizzazione di un quadro elettrico secondo le Norme CEI EN 61439 Parte 1 e Parte 2

Guidelines to the construction of a low-voltage switchgear and controlgear assembly complying with the Standards IEC 61439 Part 1 and Part 2